

1 54<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '86 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



STRATEGIEËN IN HET DIERGEDRAG / SATELLIETEN EN DUBBELPLANETEN /  
DE CHEMIE VAN DE TESTSTROOK / MAGNESIUM IN HART EN NIEREN /  
DE FUNDERING VAN DE OOSTERSCHELDEDAM

## MEST

### Van tekort naar overschot

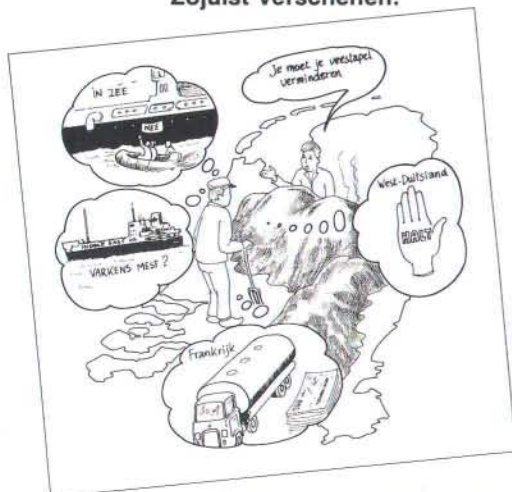
Mestoverschotten dreigen ons te overspoelen en daarbij bodem, lucht en water verregaand te verontreinigen. Ammoniak uit mest veroorzaakt stank-overlast en draagt bij aan het 'zure regen'-probleem. Hierdoor gaat de kwaliteit van de bodem achteruit en bereikt de hoeveelheid nitraat in nabijgelegen drinkwaterputten een alarmerende hoogte.

Sinds het ontstaan van de landbouw staken boeren heel veel werk in het verzamelen van meststoffen van plantaardige en dierlijke oorsprong. Vee werd gehouden om de mest. Tot in de tweede helft van de vorige eeuw was er een groot tekort. Pas met behulp van kunstmest kon men minder vruchtbare grond op grote schaal ontginnen tot landbouwgrond. Vooral in het begin van deze eeuw gebeurde dit.

Op de minst vruchtbare zandgronden ontstond begin jaren zestig de intensieve veehouderij. Vee werd gehouden om het vlees, mest was een bijproduct geworden. De onstuimige groei van de veestapel zorgde voor overproductie van mest. Omdat in de land- en tuinbouw veel kunstmest gebruikt wordt, rijst de vraag of dierlijke mest wellicht kunstmest zou kunnen vervangen. Het is echter te betwijfelen of meststoffen kunnen voldoen aan de hoge eisen die de huidige plantenteelt stelt. Naarstig wordt dan ook gezocht naar methoden om mest kwijt te raken, te verwerken of zelfs te vernietigen.

"Beter laat dan nooit", was de reactie van milieu-organisaties, die al jarenlang vergeefs gewaarschuwd hadden. Boerenorganisaties, die het probleem van het mestoverschot wel erkennen, wensen echter niet dat boeren alléén de dupe worden van de landbouwpolitiek uit heden en verleden.

### Zojuist verschenen:



Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 4 van de huidige 10e jaargang.

Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 32,50 of 620 F. Voor studenten en/of abonnees op Natuur en Techniek f 30,-

### Inhoud en auteurs

#### Voorwoord

#### Bemesting

A. van Diest

#### Geschiedenis van de bemesting

B. van Heuveln

#### De ontwikkeling van de intensieve veehouderij

M. van Daalen

#### Ammoniakproblemen in Nederland

Th.W. Janssen

#### Het verwerken van mestoverschotten

J.H. Voorburg

#### Jonge boeren en de mestproblematiek

G. Titulaer

#### Milieuvisie op de intensieve veehouderij

D. Logemann

of 570 F. Losse nummers f 8,50 of 160 F (excl. verzendkosten).

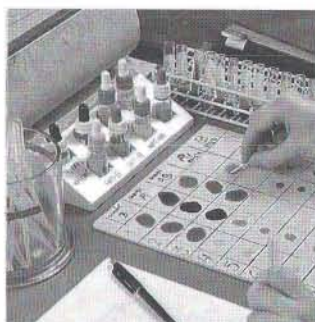
Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek - Op de Thermen - Postbus 415 - 6200 AK Maastricht. - Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044



# NATUUR '86 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 8,45 of 160 F.

**natuurwetenschappelijk en technisch maandblad**



## Bij de omslag

Tot de routinehandelingen in een ziekenhuislaboratorium behoort de bepaling van de bloedgroep van de patiënten. Daartoe worden bloeddruppels in contact gebracht met anti-lichamen tegen een bepaalde bloedgroep. In het ziekenhuis worden nog veel meer bepalingen aan bloed gedaan. Op dat terrein rukt de dry-chemistrytechniek op (zie pag. 30 e.v.)

Foto: Fotopersbureau Paul Mellaart BV, Maastricht.

Hoofredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr. G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs. H.E.A. Dassen, Drs. W.G.M. Köhler, Drs. T.J. Kortbeek.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Oldé Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs. Chr. Titulaer, Dr. J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P.

Bentvelzen, Dr. W. Bijleveld, Dr. E. Dekker, Drs. C. Floor, Dr. L.A.M.

v.d. Heijden, Ir. F. Van Hulle, Dr. F.P. Israel, Prof. dr. H. Janssens,

Drs. J.A. Jasperse, Dr. D. De Keukeleire, Dr. F.W. van Leeuwen, Ir.

T. Luyendijk, Dr. C.M.E. Otten, Ir. A.K.S. Polderman, Dr. J.F.M.

Post, R.J. Querido, Dr. A.F.J. v. Raan, Dr. A.R. Ritsema, Ir. G.J.

Schiereck, Dr. M. Sluysen, J.A.B. Verduijn, Prof. dr. J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers, Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. ir. A. Rörsch, Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-v.d. Heuvel, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223\*.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044\*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

**EURO**  
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), DIE UMSCHAU (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI) en PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR), met de steun van het Directoraat-generaal Informatiemarkt en Innovatie van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



**Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.**

# INHOUD

BOEKEN	IV
BEZIENSWAARDIG	XIII
AUTEURS	XV
COLUMN Voorlichting	XV
HOOFDARTIKEL Helden en lafaards	1

## AANVALLEN EN TERUGTREKKEN

2

Strategieën in het diergedrag

**Mayke Visser**

De laatste tien jaar is een nieuwe manier van denken over evolutionaire problemen in de biologie tot ontwikkeling gekomen. Deze heeft met name betrekking op de evolutie van dierlijk strijddrag. Het kernbegrip in deze nieuwe manier van denken is de Evolutionair Stabiele Strategie (ESS), een strategie die, eenmaal ontwikkeld in een populatie, geen ruimte laat voor het binnendringen van een alternatieve strategie.

## SATELLIETEN EN DOBBELPLANETEN

18

De manen van het zonnestelsel

**G. Bodifée**

Rond alle planeten, behalve Mercurius en Venus, wentelen één of meerdere manen. Tot voor kort stonden de manen in de schaduw van de grotere en meer indrukwekkende planeten. Ze zijn doorgaans nogal klein uitgevallen en trokken niet sterk de aandacht. Toen echter de Voyager-satellieten Jupiter en Saturnus passeerden, waren het de manen van deze planeten die de show stalen. In dit artikel plaatsen we deze tweederangs burgers van het zonnestelsel in de schijnwerper.

## INDOPEN, AFSTRIJKEN, AFLEZEN

30

De chemie van de teststrook

**J.J. Heeren**

In het begin van de jaren veertig vonden Compton en Treneer een nieuwe methode om snel en eenvoudig glucose in urine aan te tonen. Hun tablettest was de eerste dry-chemistrytest in de klinische chemie. In de loop der jaren kwamen er meer, ook voor andere verbindingen. Aanvankelijk nog als tablettest, later vooral in de vorm van een teststrook. Vooral in de afgelopen tien jaar heeft er een snelle ontwikkeling op dit gebied plaatsgevonden.





# NATUUR '86 & TECHNIEK

januari/54<sup>e</sup> jaargang/1986



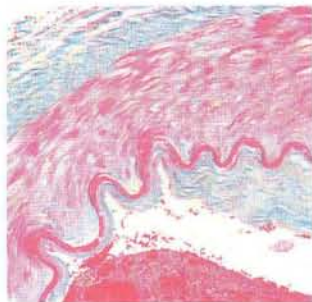
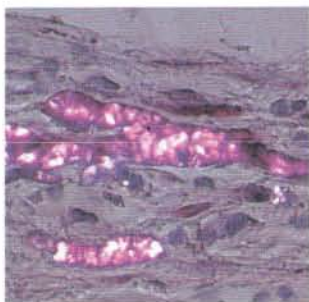
## BOUWEN OP DRIJFZAND

42

De fundering van de Oosterscheldedam

H.A.M. Nelissen

In 1974 is besloten in de monding van de Oosterschelde een pijlerdam te bouwen die alleen bij hoge stormvloed zal worden gesloten. Het plaatsen van de pijlers direct op de zandige zeebodem wordt vaak als een riskante zaak beschouwd. Veel bodems, ook die van de Oosterschelde, zijn te zwak om een dergelijke constructie te dragen. In dit artikel wordt uiteengezet waarom de pijlerdam niet in drijfzand behoeft weg te zakken, maar als een stabiele constructie op de zeebodem kan blijven staan.



## MAGNESIUM IN HART EN NIEREN

54

F.C.M. Driessens, L.J.M.J. Blomen en  
R.M.H. Verbeeck

Cholesterol en meervoudig onverzadigde vetzuren worden door iedereen in verband gebracht met hart- en vaatziekten. Een risicofactor, die net zo hard gemaakt is als de overige, is zacht water. We hebben hier eens niet te maken met een teveel aan zware metalen, maar met een, niet direct merkbaar, gebrek aan magnesium in voeding en in (zacht) drinkwater. Dit tekort lijkt ook mede verantwoordelijk voor steenvorming in de urinewegen.

## ACTUEEL

68

Charles Richter / Aardbeving in Mexico / IJsvleugels / Chelatie / Bioritmen / Glas oplosbaar / Leven uit de ruimte / Melkstal voor spinnen / Pleegmoedermelk / DNA-vingerafdruk / Platvoeten / Water oogsten / Lactosevrije zuivel / Direct klaar / Bolbliksem / Wat is daar zo zwaar? / Overleven zonder vrouwtjes / Psoriasis / Vliegers als vogelverschrikker / Sterren uit computer

## TEKST VAN TOEN

80

James Watt herdacht / Een nieuwe industrie in  
Nederlandsch Indië

## Kernwapenproblematiek

**Ruiter, Willem de, Sijde, Bart van der, (1986). De nucleaire erfenis – Natuurwetenschap, technologie en kernbewapening in historisch perspectief. Boom, Meppel. ISBN 90 6009 681 9. 592 Pag. Prijs: f 56,-.**

Hoever reikt onze kennis over de kernwapenproblematiek? Voor wie zich in de discussies mengt – en wie doet dat niet – zal het niet meevallen op grond van voldoende inzicht gefundeerde oordelen te geven. De problematiek is complex, in al haar technologische, strategische, economische, morele, politieke en psychologische aspecten. Met de nucleaire erfenis wordt voor het eerst een omvattend overzichtswerk van de kernbewapening sinds het begin in 1938 gepresenteerd, in woord en beeld.

Er lopen drie rode draden door het boek: de historische ontwikkeling van de kernbewapening, de betekenis van de wetenschap en technologie daarin, en de rol van de natuurwetenschappers. De wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen, in de politieke discussies veelal sterk onderbelicht, komen verspreid door het hele boek aan de orde. Naast alles wat bekend is onthullen de auteurs veel nieuws: over de Duitse en Russische atombomprojecten, over de nieuwe technologieën voor uraniumverrijking, laserwapens en Star Wars. De wapenwedloop heeft een sterk technologisch karakter. De discussie over de bewapening zou, zo menen de auteurs, in belangrijke opzichten worden verbreed, wanneer meer aandacht wordt besteed aan de wetenschappelijke en technologische aspecten van de bewapening.

Door het boek heen loopt een uitgebreid beeldverhaal van – soms nog niet eerder gepubliceerde – foto's (vooral uit Amerikaanse bron), met commentaar dat de



Deze onderzeeër van de Lafayette-klasse is ingericht voor het onder water afvuren van ballistische raketten. In elk van de openstaande lanceerbuizen past er één. (Foto: US Navy.)

hoofdlijnen van het boek ondersteunt.

De Ruiter (die reeds eerder in dit blad over het Star Wars-project schreef) en van der Sijde hebben een zeer omvangrijk, maar overzichtelijk werk afgeleverd dat vooral boeit doordat het laat zien hoe fundamenteel wetenschappelijk onderzoek ingrijpende maatschappelijke gevolgen heeft gehad.

Het boek is, ondanks de prijs, aan te raden voor mensen met belangstelling voor de maatschappelijke kanten van wetenschapsbeoefening en/of voor de kernwapenproblematiek.

**Huip Dassen**

## Lasertoepassingen

**Hecht, Jeff, Feresi, Dick (1985). Laser – Dodelijk wapen, genezende straal. Vertaling en bewerking: Hans Friedeman. Elsevier, Amsterdam, ISBN 90 1005651 1. 264 Pag. Prijs: f 29,50.**

In ruim twee decennia heeft de laser zich ontwikkeld van een speelgoed van gespecialiseerde fysici tot bijna een gebruiksvoorwerp. Het aantal toepassingen is legio. Lasers worden gebruikt in de chirurgie en in ruimtewapens, in discotheken, bij de productie van diamant en babyspenen.



Dit boek geeft een aardig overzicht van al deze toepassingen, maar begint uiteraard met een uitleg van het principe. Naar goed Amerikaans journalistiek gebruik is dit boek als een verhaal geschreven, waardoor het zo weg-leest.

De uitleg van het principe is goed te volgen; zonder veel kennis van de fysica kan de lezer de laser begrijpen. De hoofdstukken over de toepassingen zijn erg interessant en bevatten nog menig nieuwtje, bijvoorbeeld dat in de VS de laser zelfs tot de pornografie is doorge-drongen.

Huip Dassen

## Onze planeet leeft

**David Attenborough, (1985). Onze levende planeet, Uitg. Elsevier, Amsterdam, Brussel, 1985, 319 pagina's, ISBN 90 10 05452 7, Prijs f 39,50 of 765 F.**

Dit boek is een vervolg op het boek 'Het leven op aarde', dat als televisieserie door de BBC werd uitgezonden en veel succes had. Tegelijk met het opnemen van de onderwerpen van de serie heeft Attenborough dit boek geschreven. TV-serie en boek vullen elkaar dus aan. Het is de bedoeling dat de VARA de serie na de zomer in Nederland op het scherm brengt.

Het boek schildert het portret van de Aarde, zoals het er nu uitziet na een evolutie van zo'n 3 miljard jaar. Vanaf de 'brandhaarden van de wereld' neemt de auteur de lezer mee naar het 'ruime sop', ofwel van de kokende vulkanen naar de ijzige en donkere wereld diep onder de zeespiegel. Het blijkt dat zelfs bij extreme omstandigheden dierlijk leven mogelijk is.

Natuurlijk wisten we dit allang, maar de auteur kan dit juist op boeiende wijze vertellen. Het is

geen encyclopedisch werk, maar een persoonlijke keuze van Attenborough. Juist het verhaal over zonderlingen in de natuur maakt dat je blijft doorlezen. Ook de ruime illustratie met alle foto's in kleur en paginagroot, maakt het lezen wel gemakkelijk. Jammer is dat hier en daar kleine foutjes in de tekst staan en soms de zinnen moeilijk van constructie zijn.

Het laatste hoofdstuk is gewijd aan het optreden van de mens. Hoe hij al verschillende diersoorten heeft uitgeroeid en dit nog verder dreigt te doen. Hoe hij met zijn milieuvervuiling de natuur en zichzelf dreigt te verstikken. Het is niet de bedoeling van de auteur geweest er een doemdenkershoofdstuk van te maken, maar wel wil hij ons waarschuwen voor de gevolgen van ons handelen. Na het lezen van de eraan vooraf gaande 290 pagina's is zijn waarschuwing zeker niet overbodig.

Jacques Verduijn

## Populair periodiek systeem

Schoolse scheikunde kan voor veel leerlingen, die het een weinig opwindend vak vinden, een boeiend vak worden door een nieuw leermiddel.

Na twee jaar hard werken zijn scheikundeleraren en chemische industrie gezamenlijk tot een wandplaat gekomen, waarop het bekende 'periodiek systeem' van Mendeleev tot een speelse wegwijzer is geworden naar de toepassing van de elementen in de praktijk van alledag.

Zo leert de plaat, dat het element natrium toepassing vindt in wegverlichting, in batterijen, voor antiklopiddelbereiding in benzine, als koeling van kernreactoren en voorkomt in alledaagse verbindingen als keukenzout, soda en glas. Het element stikstof komt men tegen in raketbrand-

stof, om voedsel te koelen, om ammoniak te bereiden, in de chirurgie, in kunstmest en in springstoffen. Bismut blijkt toegepast te worden in sprinklerinstallaties en in brandwondenwindsels, germanium in een groothoeklens en goud blijkt ook nuttig te zijn als reuma-bestrijder.

Dit zijn nog maar vijf van de bijna honderd elementen, waaruit de wereld om ons heen is opgebouwd en die door Mendeleev in de vorige eeuw in een 'periodiek systeem' zijn gevangen. De nieuwe wandplaat heeft nog altijd dezelfde grondvorm als de klassieke versie. De weinig tot de verbeelding sprekende symbolen van de elementen worden begeleid door kleurige afbeeldingen van toepassingen: een TL-buis, een thermometer, een zonnepaneel of een pijp van een kerkorgel. Onder de meeste elementen staan vijf toepassingen als niet-ontleedbare stof of in de vorm van een verbinding. Van een aantal elementen heeft ook de moderne maatschappij nog geen profijt kunnen trekken in een nuttige toepassing. Het werk aan de wandplaat heeft twee jaar geduurd. Het naslaan van handboeken en encyclopedieën leek een snelle weg, maar het bleek geen veilige weg te zijn. Veel toepassingen zijn lang achterhaald, nieuwe toepassingen vindt men nog te weinig in de handboeken. Het was nodig dat voor elke toepassing contact opgenomen werd met gespecialiseerde bedrijven en laboratoria. Enkele hoogleraren werden gegrepen door het project en boden spontaan hun medewerking aan. Het leeuwendeel van het spitwerk is verricht door de Haagse scheikundeleraren drs. J. Kappe en dr. J. van Spronsen. Zij kregen bij hun werk de volle medewerking van de chemische industrie. Het ontwerp van de poster is van DSM.

Belangstellenden kunnen voor informatie contact opnemen met het NVON, afd. administratie, Postbus 90247, 1006 BE Amsterdam, ☎ 020-152596.

# MEDEDELINGEN AAN ONZE ABONNEES

## DE NIEUWE JAARGANG

Voor u ligt het eerste nummer van de 54e jaargang, die in het totaal weer 12 nummers zal omvatten.

De abonnementsprijs bedraagt f 97,50 of 1875 F per jaar, voor studenten f 75, – of 1450 F. Zoals gebruikelijk ontvangt u in februari a.s. een voorbedrukte acceptgirokaart of overschrijvingsformulier waarmee u het abonnementsgeld kunt voldoen. Wij verzoeken u vriendelijk uitsluitend op deze manier te betalen.

Alle abonnementen op NATUUR EN TECHNIEK worden genoteerd tot schriftelijke opzegging. Verlenging vindt automatisch plaats, tenzij het abonnement uiterlijk op 15 december van het voorafgaande jaar is opgezegd.

## HET BEWAREN WAARD

Voor het opbergen van volledige jaargangen van NATUUR EN TECHNIEK zijn speciale cassettes verkrijgbaar. De prijs van deze in groen kunstleer met goudopdruk uitgevoerde cassette bedraagt f 15, – of 285 F. Eveneens in februari a.s. ontvangt u een acceptgirokaart of overschrijvingsformulier waarmee u een of meer cassettes kunt bestellen, voor de nieuwe jaargang en voor de jaargangen vanaf 1979. Voor oudere jaargangen zijn cassettes zonder jaartalopdruk verkrijgbaar. Binnen vier weken na ontvangst van uw storting zenden wij u de bestelde cassette(s).

## JAARINDEX

Vanaf maart a.s. is de index 1985 verkrijgbaar. Deze wordt meegeleverd met de opbergcassette van 1986 en is ook los te bestellen, tegen betaling van de verzendkosten.



## BOEKEN VAN NATUUR EN TECHNIEK

In de loop der jaren is een aanzienlijk fonds opgebouwd van boeken op het gebied van de natuurwetenschappen en technologie, variërend van het omvangrijke standaardwerk DE NEDERLANDSE DELTA (zie de advertentie in dit nummer) tot HET ONTSTAAN VAN SOORTEN, de theorie van Darwin uiteengezet voor jeugdigen. Een aparte plaats nemen de boeken van DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK VAN NATUUR EN TECHNIEK in, een serie boeken uitgegeven in samenwerking met SCIENTIFIC AMERICAN, waarop u zich kunt abonneren. Op aanvraag zal onze afdeling lezersservice u graag een uitgebreide brochure over deze serie zenden.





## IN DE SERIE VAN DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK ZIJN REEDS VERSCHENEN



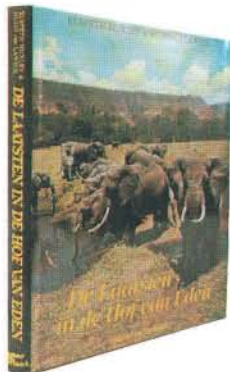
### **MACHTEN VAN TIEN** **Dimensies in het heelal**

Een fantastische reis in 42 stappen naar de grenzen van de ons bekende wereld, van de verste melkwegstelsels tot de kleinste deeltjes in de microkosmos. Het boek telt 164 pagina's met 312 afbeeldingen, in vierkleuren-druk en zwart/wit. In linnen band met stofomslag. Prijs f 69,50 of 1335 F, bij abonnement op de serie f 55, – of 1065 F.

### **MENSELIJKE VERSCHIEDENHEID**

#### **Het spel van erfelijkheid, milieu en toeval**

In dit boek toont de auteur aan dat ieder van ons van alle anderen verschilt door wisselwerking van genetische verschillen, milieuverschillen en toevallige invloeden. Voor ieder geldt, ongeacht ras, klasse of sekse, dat we onze eigen identiteit kunnen ontwikkelen binnen een breed scala van mogelijkheden. 184 Pagina's met 162 afbeeldingen in zwart/wit. In linnen band met stofomslag. Prijs f 69,50 of 1335 F, bij abonnement f 55, – of 1065 F.



## VERDER VERSCHENEN BIJ ONS O.A.

### **DE LAATSTEN IN DE HOF VAN EDEN**

Het verhaal van de in groepen levende dieren in Afrika, vastgelegd in schitterende kleurenfoto's. De bekende natuuronderzoeker/fotograaf Hugo van La-  
wick en de journaliste Elspeth Huxley vertellen hun belevenissen met apen, giraffen, wilde honden, olifanten en vele andere dieren. 192 Pagina's met 99 kleurenfoto's. In linnen band met stofomslag. Prijs f 49,90 of 955 F. Voor abonnees f 32,50 of 635 F.

# MEDEDELINGEN AAN ONZE ABONNEES



## HET ONTSTAAN VAN SOORTEN

Een rijk geïllustreerd boek dat op begrijpelijke wijze en aan de hand van talrijke voorbeelden de evolutieleer voor iedere leek duidelijk maakt. Speciaal geschikt voor leerlingen van 12 - 17 jaar bij de biologielessen. Met geplastificeerd omslag, 120 pagina's met ruim 200 foto's en tekeningen, in zwart/wit en vierkleurendruk. Prijs: f 24,50 of 475 F. Voor abonnees: f 17,50 of 335 F. Bij collectieve bestellingen voor het onderwijs (min. 10 ex.): f 15,- of 285 F.

## ENERGIE UIT ATOOMKERNEN

Een uitgave over kernenergie en de toepassing van radioactieve stoffen in wetenschap, techniek en geneeskunde.

Door prof. dr. J.D. Fast. In vierkleurendruk, 350 pagina's met ruim 500 illustraties. In paperback-uitvoering: f 40,- of 775 F. Voor abonnees: f 30,- of 575 F.

## DE EVOLUTIE VAN DE MENS - De speurtocht naar ontbrekende schakels

Een persoonlijk verslag van 's werelds bekendste antropologen over hun onderzoek naar de ontbrekende schakels in de evolutiestamboom van de mens. In vierkleurendruk, 336 pagina's met ruim 500 illustraties. In paperbackuitvoering: f 40,- of 775 F. Voor abonnees f 30,- of 575 F. In linnen band met stofomslag: f 52,50 of 1015 F.

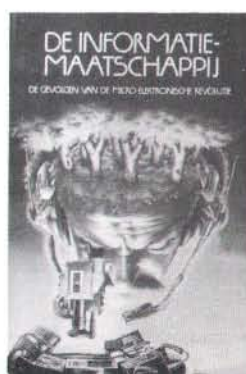
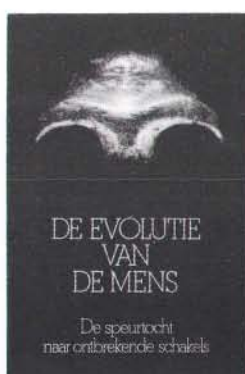
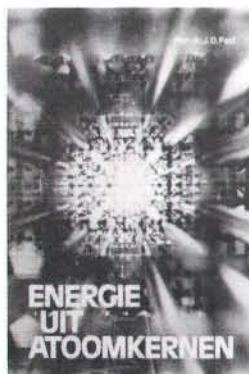
## DE INFORMATIEMAATSCHAPPIJ

**De gevolgen van de micro-elektronische revolutie.**

Een boek niet alleen over de invloed van de informatica, micro-elektronica en automatisering op onze samenleving, maar ook over de achterliggende processen, fysische grondslagen, enz. Geschreven door de beste auteurs op dit gebied uit binnen- en buitenland. 288 Pagina's met ca. 300 illustraties.

In paperbackuitvoering: f 35,- of 675 F. Voor abonnees: f 27,50 of 530 F.

In linnen band met stofomslag: f 47,50 of 915 F.







### DE EERSTE DRIE MINUTEN - Het ontstaan van het heelal.

Over wat er gebeurde in het allervroegste begin, ruim vijftien miljard jaar geleden, ten tijde van de 'Big Bang'. Door prof. dr. Steven Weinberg, nobelprijswinnaar Fysica, 1979. Gebonden in linnen band met stofomslag, 202 pagina's met ca. 300 foto's en tekeningen in zwart/wit en vierkleurendruk. Prijs: f 40,- of 775 F. Voor abonnees: f 30,- of 575 F.

### CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN

Een studieatlas met bijna 700 foto's, gemaakt met de scanning-elektronenmicroscopie, die een voortreffelijk beeld geven van de ruimtelijke opbouw van cellen, weefsels en organen. Samenstelling: prof. dr. Richard G. Kessel en dr. Randy H. Kardon. In zwart en grijsdruk, gebonden in linnen band. 320 Pagina's met 677 foto's en 60 tekeningen. Prijs: f 94,50 of 1825 F. Voor abonnees: f 65,- of 1250 F.



### VERANDEREND NEDERLAND

De landbouw De halve eeuw ontwikkelingen op het platteland



### VERANDEREND NEDERLAND

#### Een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland

Jubileumuitgave van de Landinrichtingsdienst van het Ministerie van Landbouw en Visserij. De veranderingen in de landbouw, het landschap, de natuur en de openluchtrecreatie op een prettig leesbare manier beschreven, geïllustreerd met ruim 500 foto's, kaarten en tekeningen. 256 Pagina's, in vierkleurendruk. In linnen band met stofomslag. Prijs f 95,- of 1825 F. Voor abonnees f 69,50 of 1335 F.

Voor uw bestelling kunt u gebruik maken van de bij dit nummer gevoegde kaart. Alle prijzen zijn exclusief verzendkosten. Ook verkrijgbaar via de erkende boekhandel. De vermelde prijzen voor abonnees zijn geldig tot 1 maart 1986.

### Maastricht/Brussel, januari 1986

Op de Thermen - Postbus 415 - 6200 AK Maastricht - Tel. (043) - 54044

Voor België: Tervurenlaan 32 / 1040-Brussel - Tel. (Nederland) 00.31.43.54044



HET  
GREVELINGEN

van estu  
naar zoutw

# VEILIG ACHTER DE DIJK.. in een leefbaar land



Boeken van

## NATUUR & TECHNIEK

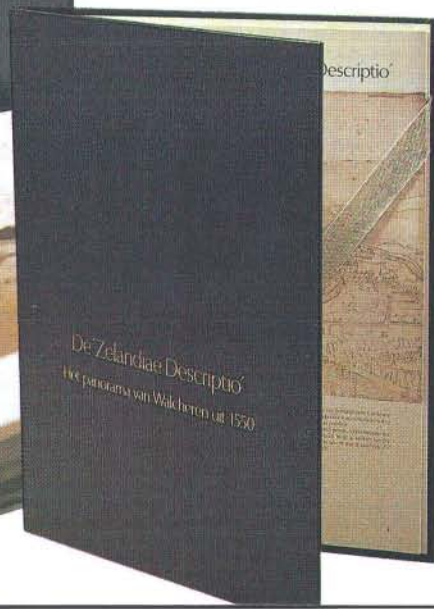
over het Deltagebied en de Deltawerken

Dat is het tweeledige doel van de Deltawerken. Veiligheid voor de bewoners van de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden in een land waarvan de natuurlijke waarden worden gerespecteerd, zodat het leefbaar is voor mens, dier en plant.



Met de bouw van een aantal omvangrijke waterbouwkundige kunstwerken, waaronder de spectaculaire pijlerdam in de Oosterschelde, wordt dit doel verwezenlijkt. NATUUR EN TECHNIEK heeft de uitvoering van de Deltawerken steeds gevolgd,

### DE NEDERLANDSE DELTA



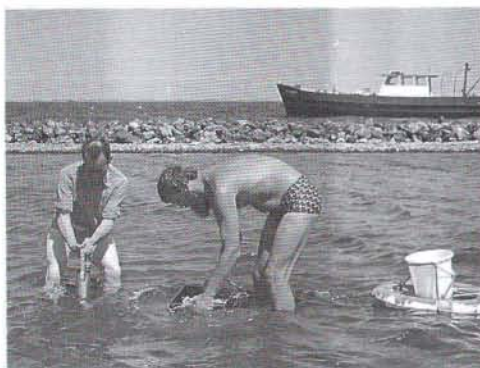


vooral waar het de natuurwetenschappelijke en technologische aspecten betreft. Regelmatig hebben wij daarover artikelen gepubliceerd; ook verscheen bij ons het belangrijkste standaardwerk DE NEDERLANDSE DELTA, een 'dijk' van een boek, dat een overzicht geeft

van de geschiedenis van het Deltagebied en het tot stand komen van de Deltawerken.

Tevens verscheen onlangs het boek HET GREVELINGENMEER – Van estuarium naar zoutwatermeer, over het ecologisch onderzoek in dit unieke natuur- en recreatiegebied.

Tot 1 maart 1986  
voor **f145,-**  
of **2785 F**



## HET GREVELINGENMEER

Van estuarium naar zoutwatermeer



Zolang  
de voorraad strekt  
voor **f124,50**  
of **475 F**



Ongeveer vijftien jaar geleden werd de Grevelingen afgesloten. Daar aanvankelijk niet duidelijk was hoe het ecosysteem op deze ingreep, waardoor eb en vloed verdwenen, zou reageren, werden de ontwikkelingen in het

meer nauwlettend door onderzoekers gevolgd. Systematisch werden vele gegevens verzameld die van groot belang zijn voor het beheer van dit gebied. Dit heeft er o.a. toe geleid dat de overheid geadviseerd is het meer zout te laten. Resultaten van het ecologisch onderzoek zijn op overzichtelijke manier bijeengebracht in een 180 pagina's tellende bundeling van artikelen uit NATUUR EN TECHNIEK, onder de titel HET GREVELINGENMEER – Van estuarium naar zoutwatermeer. Deze is verschenen als een speciale uitgave voor het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek; wij hebben echter een kleine oplage voor onze abonnees gereserveerd. Zolang de voorraad strekt kunnen wij u HET GREVELINGENMEER aanbieden voor f 24,50 of 475 F.





# DE NEDERLANDSE DELTA

Een compromis tussen milieu en techniek in de strijd tegen het water



Onovertroffen standaardwerk, uitgegeven in samenwerking tussen het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, de Deltadienst van Rijkswaterstaat en de redactie van NATUUR EN TECHNIEK, onder auspiciën van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Bijna vijf jaar intensief werk leverde een indrukwekkend naslagwerk op.

Het boek telt 512 pagina's met 556 foto's, kaarten en tekeningen en is gebonden in een kunstleren band met dito cassette. In deze cassette is, in een apart kunstleren etui, een 2½ m brede fascimile-uitgave bijgesloten van de 'Zelandiae Descriptio', een nog nooit eerder gepubliceerd panorama van Walcheren uit 1550.



Prijs in de boekhandel f 225,- of 4325 F. Voor abonnees op Natuur en Techniek f 145,- of 2785 F. (Tevens betaalbaar in twee termijnen). Deze aanbieding is geldig tot 1 maart 1986.

## Bestelling en betaling

Zowel HET GREVELINGENMEER als DE NEDERLANDSE DELTA kunt u bestellen met de bij dit nummer gevoegde kaart. Binnen 14 dagen zenden we u dan uw bestelling toe, met een acceptgiro of overschrijvingsformulier.

Bij betaling van DE NEDERLANDSE DELTA in twee termijnen ontvangt u bij het boek een acceptgiro of overschrijvingsformulier voor iedere termijn van f 77,50 of 1500 F (inclusief verzendkosten). Wij verzoeken u vriendelijk de eerste termijn te voldoen direct na ontvangst van het boek, de tweede termijn vóór 15 maart 1986. U kunt uiteraard ook in eens betalen.

## Bospraktijklessen

In het voorjaar van 1985 werden door de Initiatiefgroep Bosbouw van de Vlaamse Bosbouwvereniging een eerste reeks praktijkgerichte bosbouw cursussen georganiseerd in de vijf Vlaamse provincies. Gezien het grote succes dat dit initiatief kende, gaat in februari 1986 een herhaling van deze lessenreeks van start. In Vlaanderen is 114.000 ha of slechts 8,5 procent van de oppervlakte met bos bezet. Hiervan is 70 procent privébezit, verdeeld over meer dan 60.000 boseigenaars. Nu stelt de Initiatiefgroep Bosbouw met verontrusting vast dat het privébos niet of ondoelmatig beheerd wordt, dit door gebrek aan interesse of door gebrek aan kennis. Veelal ontstaan hierdoor sterk gedegradeerde bossen die zowel op ecologisch als op economisch vlak weinig waardevol zijn. Om aan dit gebrek aan kennis te verhelpen richt de Initiatiefgroep Bosbouw opnieuw praktijkgerichte bosbouw cursussen in. Deze lessenreeks richt zich niet enkel tot de boseigenaars maar tot iedereen die iets meer wenst te weten over het bos, over wat bosbeheer eigenlijk is en hoe de bospraktijk moet worden aangepakt. De lesonderwerpen zijn afgestemd op de problemen die zich dagelijks in de bospraktijk voordoen. Er zal in ruime mate aandacht worden besteed aan de ecologische en sociale rol van het bos, zonder het belang van de houtproductie te negeren. De cursus is gespreid over vier zaterdagen en omvat 13 uur les en 10 uur praktijk en demonstraties. Nadien worden nog twee boxexcursies ingericht waarop alle deelnemers worden uitgenodigd.

Deelname aan de cursus bedraagt 1750 frank voor leden van de V.B.V., 2000 frank voor niet-leden. In deze prijs is eveneens het kursuspakket van 6 delen (samen ± 300 pag.) inbegrepen.

Voor alle inlichtingen: ☎ 091-522113.

## Spinnen van België

Deze tentoonstelling in het museum van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen bestaat uit een zestigtal kleurenfoto's gemaakt door de heer Verbruggen. Door het opkweken van spinnen slaagde hij er in hun levensactiviteiten op meesterlijke wijze vast te leggen. Men krijgt een overzicht van de levenscyclus van spinnen die men in en om het huis kan aantreffen. Men ziet het vangen van prooien, de balts, de paring, de broedzorg en het uitsluipen van de jongen. Deze tentoonstelling zet u aan om in het spinnenvivarium zelf enkele van deze merkwaardigheden te observeren.

De tentoonstelling is dagelijks te zien in het museum aan de Vautierstraat 29, 1040 Brussel van 9.30 tot 12.30 uur en van 13.30 tot 16.45 uur. Voor inlichtingen ☎ 02-6480475.



## Koolstof

In de centrale traphal van het museum van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen bevindt zich een draaiende wereldbol omgeven door zes kleinere bollen, als een koolstofatoom, met zes elektronen. Elk daarvan stelt een bepaald ecosysteem voor: een poolgebied, een berglandschap, een tropisch regenwoud, een woestijn, een savanne en een koraalrif uit de Stille Zuidzee. Ecologische problemen krijgen zo een ruimere dimensie.

Vanuit de zaal van de Mineralogie ziet de bezoeker in deze voorstelling de configuratie van een koolstofatoom met in het midden de kern en daarrond de zes elektronen.

In de mineralogie is het koolstofatoom een atoom als alle anderen, maar voor levende wezens betekent koolstof meer. Het is de essentiële bouwsteen van alle organische molekulen. Hiermee wordt de 'levenloze stof' geïntegreerd in al wat leeft. Het geheel vormt aldus een duidelijke overgang tussen de zaal van de Mineralogie en de zaal van de Ecologie, vanwaar elk bezoek aan de andere afdelingen kan starten.

Een en ander is dagelijks te zien in het museum aan de Vautierstraat 29, 1040 Brussel, van 9.30 tot 12.30 uur en van 13.30 tot 16.45 uur. Voor inlichtingen: ☎ 02-6480475.

## Industriële archeologie

De studie en het behoud van het industrieel erfgoed weet steeds meer belangstellenden te boeien. Jammer genoeg bestaat er tot op heden in Vlaanderen nog nergens de mogelijkheid om zich in de verschillende thema's en benaderingswijzen te scholen. Door de onmogelijkheid om enige basis-



Een voorbeeld van industriële archeologie is dit oude fabriekscapex van Ciba-Geigy; het begin van een chemiegigant. (Foto: Ciba-Geigy, Bazel).

kennis te verwerven, blijven talrijke nieuwe toepassingsgebieden (zoals toerisme en onderwijs) onontgonnen.

Om deze leemte op te vullen, start de Vlaamse Vereniging voor Industriële Archeologie (VVIA) met een reeks vormingsweekends en -bijeenkomsten, terwijl in de loop van volgende maanden ook een aantal specifieke en gespecialiseerde pakketten op hun haalbaarheid getoetst zullen worden. Een eerste vormingsweekend over industriële archeologie wordt in seminarieverband georganiseerd te Leuven. Het is de bedoeling aan de deelnemers een eerste algemene inleiding te bieden met betrekking tot het thema en zijn methoden, deels aan de hand van uiteenzettingen van een aantal gespecialiseerde medewerkers, deels aan de hand van vragen en discussies. De opleiding maakt gebruik van verschillende audiovisuele middelen, en is praktijkgericht. De deelnemers ontvangen een samenvatting van de belangrijkste uiteenzettingen en een beknopte bibliografie.

Het weekend start op zaterdag 8 maart om 10 uur, met bijeenkomsten tijdens de zaterdagvoormiddag, -namiddag en -avond, en tijdens de zondagvoor- en namiddag.

Deelname aan het totale programma, met inbegrip van de documentatie kost 600 frank voor leden van de VVIA en 750 frank

voor niet-leden. Hierin zitten geen maaltijden of logies; degenen die evenwel ter plekke wensen te overnachten, kunnen logies verkrijgen maar dan wel met een prijsverhoging; aanvragen vóór 1 februari.

Men schrijft enkel in door overschrijving vóór 20 februari van het bedrag op de rekening van VVIA, ASLK 001-061134-85, met vermelding 'vormingsweekend 8/9 maart, Leuven'.

De VVIA heeft ook een beknopte brochure op A5-formaat uitgegeven, waarin kort uitgelegd wordt wat industriële archeologie is, en waarin de verschillende aspecten van de werking van de vereniging worden voorgesteld.

Tevens vindt men er een overzicht van de belangrijkste organisaties in Vlaanderen en Wallonië, de verschillende werkgroepen die reeds opgericht werden (van brouwerijen tot en met het hergebruik van industriële ruimten), het documentatiecentrum voor het industrieel erfgoed, vormingsprogramma's, beschikbare reizende tentoonstellingen, enz. ...

Geïnteresseerden kunnen de brochure verkrijgen door twee postzegels van 12 frank te zenden aan de: Vlaamse Vereniging voor Industriële Archeologie, Postbus 30, Postkantoor Maria Hendrikaplein 9000 Gent-12. Daar kan men ook nadere inlichtingen over het weekend verkrijgen.



**Drs. M.J.H. Visser** ('Aanvallen of terugtrekken') is 4 juli 1950 in Duiven geboren. Zij studeerde biologie en psychologie in Nijmegen, Utrecht en Oxford. Na haar afstuderen verrichtte zij gedurende vier jaar ecologisch onderzoek in Oxford. Sinds 1982 is zij verbonden aan de Ruhr-Universität in Bochum. Daarnaast is zij actief als free-lance journalist.

**Dr. Gerard Bodifée** ('Satellieten en dubbelplaneten') is op 7 februari 1946 in Morselt geboren. Hij studeerde van 1967 tot 1972 scheikunde en natuurkunde in Antwerpen, Gent en Brussel. Hij promoveerde in Gent. Na zijn promotie was hij verbonden aan de Universitaire Instelling Antwerpen en het Astrofysisch Instituut van de VU te Brussel (tot 1984). Thans is hij werkzaam bij het Brusselse planetarium.

**Drs. J.J. Heeren** ('Indopen ...') is in 1938 in Tilburg geboren. Hij studeerde chemie te Tilburg, Eindhoven en Utrecht. Na militaire dienst en een dienstverband bij het Centraal Lab. van DSM te Geleen was hij enige jaren in VN-verband werkzaam in het Midden Oosten. Hij is nu verbonden aan het Dr. Struycken-instituut, een opleiding voor medisch-technisch laboratoriumpersoneel te Eindhoven.

**Ing. H.A.M. Nelissen** ('Bouwen op drijfzand') is op 18 augustus 1949 in Maastricht geboren. Van 1971 tot 1974 studeerde hij weg- en waterbouwkunde aan de HTS te Haarlem. Daarna trad hij in dienst van het Laboratorium voor Grondmechanica in Delft, waar hij zich vooral met funderingstechnieken bezighoudt. Vanaf 1979 was hij betrokken bij de bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde.

**Prof. dr. F.C.M. Driessens** ('Magnesium') is op 26 februari 1937 in Venray geboren. Van 1957 tot 1962 studeerde hij schei- en natuurkunde aan de Rijksuniversiteit in Utrecht. Vervolgens trad hij in dienst van de TH Eindhoven, waar hij in 1964 promoveerde. Sinds 1970 is hij hoogleraar biomaterialen in Nijmegen; hij onderzoekt harde tandweefsels en caries.

**Dr. ir. L.J.M.J. Blomen** ('Magnesium') is op 8 maart 1955 in 's-Gravenhage geboren. Hij studeerde scheikundige technologie aan de TH Delft van 1973 tot 1978 en promoveerde te Leiden in 1982. Sinds 1983 is hij werkzaam op de Research and Development afdeling van Kinetics Technology International te Zoetermeer.

**Dr. R.M.H. Verbeeck** ('Magnesium') is op 12 januari 1949 te Leuven geboren. Hij studeerde scheikunde in Antwerpen en Gent van 1968 tot 1972. In 1980 promoveerde hij in Gent. Sinds 1973 is hij verbonden aan het laboratorium voor analytische scheikunde van de R.U. Gent. Sinds 1981 is hij bevoegdverklaard navorser van het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek.

## Voorlichting

*Een beetje laat misschien, maar dank u en ook een heel goed 1986 toegewenst. De goede voornemens zijn inmiddels natuurlijk al wel zo'n beetje vergeten (en roken deden de lezers van dit blad toch al niet) maar ik wil nog steeds dit jaar eens wat anders beginnen. Nu eens niet als mopperpot die altijd alleen maar bezig is te katten wat anderen (toch zonder twijfel met de beste bedoelingen voor het een of ander, al is niet altijd duidelijk voor wat dan wel) uitvoeren en nalaten. Want dat is makkelijk zat. Ik moet dan ook maar eens zeggen hoe het wel moet.*

*Nu heb ik toch al niet zoveel verstand, maar ik denk wel dat ik zo langzamerhand iets van wetenschapsvoorlichting weet. Het probleem daarmee is, dat alle mensen die het beste met ons voor hebben, vinden dat wetenschap belangrijk is, en dat we daar allemaal alles van zouden moeten weten, maar dat wij (nou ja, nu net niet wij natuurlijk, want wij lezen Natuur en Techniek, het gaat om die paar niet-lezers van dit blad) dat niet schijnen te willen. In elk geval niet genoeg. De uitkomsten van onderzoeken naar kennis op het gebied van wetenschap zijn dan ook buitengewoon leuk leesvoer.*

*Onze overheid vindt dat een probleem en wil daar wat aan doen, dat wil zeggen: de overheid wil er geld voor uitgeven. Dat is heel nobel, maar ik denk dat de overheid er daarmee niet is en dat bovendien dat geld eigenlijk alleen maar nuttig kan worden besteed op bepaalde manieren. Dat die besteding wordt opgedragen aan een onafhankelijke stichting is verder alleen maar goed, want er zijn voorbeelden van het niet-uitkeren van geld omdat schrijfsels de overheid niet bevielen.*

*Om te beginnen moeten we bedenken, dat het overbrengen van kennis over wetenschappelijke ontwikkelingen een vak is, een vak dat bovendien moeilijker wordt naarmate degenen die zo nodig kennis moeten krijgen verder van het wetenschapsbedrijf afstaan. Dat is niet alleen een kwestie van woordkeus (al zullen heel wat mensen ophouden met luisteren of lezen als er protonen, Escherichia coli of uranium-hexafluoride aan de orde komen) maar vooral van denktrant. Het belangrijkste obstakel voor begrip van wetenschappelijke zaken is, dat er algemene en modelmatige uitspraken*



worden gedaan, die gewoonlijk nauwelijks te verbinden zijn met de persoonlijke ervaringen, de persoonlijke leefwereld van de lezer, kijker of luisteraar. Het vak bestaat er in de eerste plaats uit door opbouw, stijl en dramatische vormgeving de koppeling tusschen wetenschappelijke kennis en eigen leefwereld tot stand te brengen.

Nu geldt dat, zij het misschien in wat mindere mate, ook voor vele politieke kwesties. Er is een vak dat een specialisme inhoudt om voor een bepaalde groep, die zich van andere groepen onderscheidt door de bereidheid voor een bepaalde krant of tijdschrift te betalen, of door naar een bepaalde omroep te kijken en te luisteren, de koppeling tot stand te brengen tussen het abstract-algemene en het concreet-persoonlijke. Dat vak heet journalistiek. Mijn basisstelling is dan ook, dat wetenschapsvoorlichting een zaak is van journalisten, vakmensen in het overbrengen, en dat de kanalen daarvoor in beginsel bestaan in de vorm van kranten, tijdschriften en omroepverenigingen met een bepaald publiek, met een daaraan aangepaste techniek.

Daarmee zijn we er nog lang niet. Die journalisten moeten uiteraard zelf toegang kunnen krijgen tot wat er er aan wetenschappelijke kennis is en steeds nieuw wordt voortgebracht. Daarvoor bestaan enkele nogal prijzige manieren. De hoogste kosten zitten in de tijd die ermee gemoeid is. Nicolas Vichney, wetenschapsredacteur van *Le Monde*, zei eens, dat een ervaren wetenschapsjournalist gemiddeld twaalf uur per dag moet lezen, vier uur per dag met onderzoekers moet spreken, zes uur per dag congressen moet bijwonen en daartoe drie uur per dag moet reizen. In de rest van de schrijft hij zijn artikelen.

Na toevoeging van het nodige zout blijft er van deze uitspraak toch over, dat de opleiding en het bijblijven voor wetenschapsjournalisten kostbare zaken zijn. Zo kostbaar, dat de meeste organen in medialand zich dat nauwelijks kunnen (of willen) veroorloven. Eén van de effectiefste manieren om de wetenschapsvoorlichting te bevorderen zou dan ook steun in deze richting zijn. Laat bijv. uit de desbetreffende pot mensen met enige jaren journalistieke ervaring eens twee of drie jaar studeren, d.w.z. lezen, lezingen en congressen bijwonen enz. Geen goud zo goed voor de beginnende wetenschapsjournalist als het bijwonen van het

kerstcongres van de *American Association for the Advancement of Science*, of van de bijeenkomsten van enkele (inmiddels dicht bij samenwerking gekomen) Britse tegenhangers daarvan. De kosten van zo iets?

Laten we de opleiding eens op twee jaar stellen. Het lijkt redelijk dat er in het begin niets van de journalist verschijnt, maar naarmate de twee jaar vorderen steeds meer. Men zou dan kunnen denken aan het volle salaris in het eerste half jaar, driekwart in het tweede enzovoort als loonsubsidie. De reis- en verblijfskosten zouden wel geheel kunnen (moeten) worden gesubsidieerd, zeg f 50000 (850000 F) over twee jaar. Dat brengt de kosten per opgeleide wetenschapsjournalist op ongeveer f 125000 (ruim 2 miljoen F). Daarna en daarnaast zou men (een deel van) de kosten voor (studie)reizen kunnen blijven bekostigen en eventueel de kosten van tijdschriften. Een centrale instelling waar journalisten die kunnen lezen is zinloos, want er is nooit tijd voor aanvragen, wachten enz.

Dan nog is er behoefte aan onderzoekers die zelf wat over hun vakgebied kunnen melden. Die moeten worden gestimuleerd vooral niet als onderzoeker, maar als journalist te gaan schrijven (en dus op het moment van schrijven ook: denken). De huidige cursussen voor wetenschapscorrespondenten, hoe nuttig ook, hebben een betrekkelijk laag rendement. Het zou zeker goed zijn wanneer jonge onderzoekers zeg na het stadium van assistent in opleiding de kans zouden krijgen om, betaald uit de voorlichtingspost en formeel in dienst van hun eigen universiteit of wat dan ook, een half jaar als journalist (en dan liefst als plaatselijk brandjesverslaggever: dat is de manier om het vak te leren) bij een krant te werken.

Dat zou dan niet als een onwetenschappelijke nevenactiviteit moeten gelden, en artikelen in de populaire pers – zgn. C-publikaties, die bij de beoordeling nauwelijks tellen en die vaak zelfs als onwetenschappelijke tijdsverspilling worden gezien – zouden bij de beoordeling zwaar moeten wegen.

Met het budget dat nu beschikbaar is en in de komende jaren zal komen, zou op deze manier binnen enkele jaren een zeer veel sterkere wetenschapsvoorlichting kunnen ontstaan en kunnen worden gehandhaafd.

A. de Kool



# Held en lafaard

---

Hoewel er de laatste jaren wat twijfels zijn ontstaan aan de algemene geldigheid van de evolutietheorie, blijkt die nog steeds een zeer nuttig instrument te zijn voor het verklaren van veel wat we in de levende natuur kunnen waarnemen. Ook, zo stelt Mayke Visser in een artikel op pag. 2, de verhouding tussen stoere vechtersbazen en angsthazen in de dierenwereld. Er is een strategie die leidt tot het grootst mogelijke gezonde nakomelingschap, en in elke populatie zal – bij ongewijzigde omstandigheden – die strategie op den duur de algemene worden. Zo'n strategie kan een aantal gedragingen omvatten, die worden waargenomen hetzij afhankelijk van de omstandigheden, hetzij afhankelijk van de betrokken individuen.

Misschien nog het boeiendste van deze redenering is, dat er wordt uitgegaan van een strikt doelrationeel gedrag van de dieren, waarbij ze evenwel geen intelligentie of zo krijgen toebedacht, maar waarbij die rationaliteit extern is, een natuurwet! Niet de dieren bepalen wat op een gegeven moment slim is om te doen. Wanneer een dier toevallig de beste strategie volgt geeft dat meer kans op nageslacht, en daarmee op verbreiding van de strategie.

Het is een zeer aantrekkelijke theorie, met name ook door de betrekkelijke eenvoud ervan en door de mogelijkheid kwantitatieve voorspellingen te doen over verschillende soorten vecht- (en vlucht-)gedrag. Uiteraard moeten we ook van deze theorie niet verwachten dat nu alle gedrag eens en voor altijd is verklaard en kan worden berekend. Zeker in de zo ingewikkelde levende natuur geldt de uitspraak van A.G. Kloppers: "Iets is nooit het een of het ander, maar altijd zowel het een als het ander, het een noch het ander, en het een en het ander." Zoals altijd bij wetenschappelijke (en trouwens ook bij alle andere) waarnemingen wordt de uitkomst sterk bepaald door de theorie. Daarmee is het bepaald niet uitgesloten, dat heel andere theorieën ook een verklarende werking kunnen hebben. De theorie heeft ook niet de pretentie alle gedrag te kunnen verklaren en de toetsbaarheid vormt een probleem: met de theorie strijdige gedragingen kunnen immers altijd worden aangemerkt als (nog) niet evolutionair stabiel.

De situatie wordt nog gecompliceerder naarmate diersoorten intelligenter zijn en individuen eventuele eigen doelrationaliteit kunnen ontwikkelen bij het nastreven van korte-termijn doeleinden, die bepaald niet altijd behoeven te passen in een evolutionair gezien gunstig patroon. De Global-Dynamicsmodellen van Forrester en het daarop volgende werk van de Club van Rome hebben dat voor wat de mensenwereld betreft duidelijk aangetoond. Men hoeft het met de precieze opzet van die modellen en dus met de uitkomsten niet eens te zijn om toch deze algemene conclusie onontkoombaar te vinden.

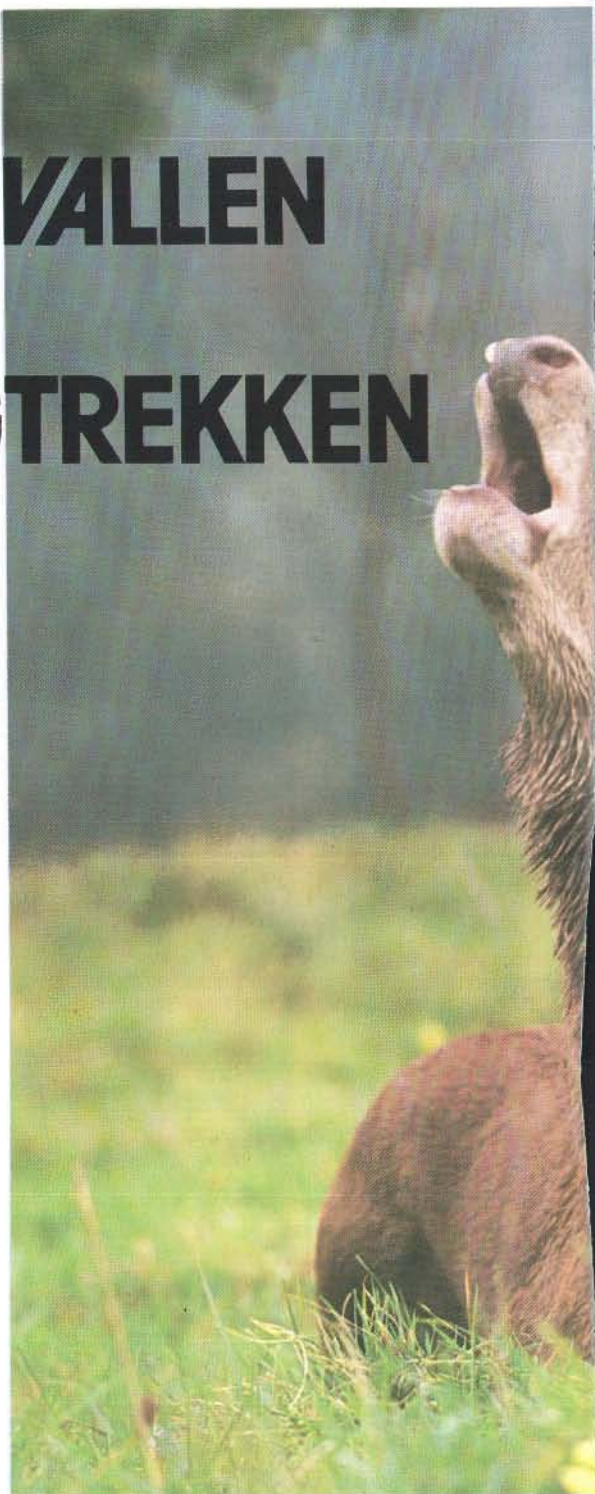
Daarmee is overigens de theorie nog niet van de baan, zelfs niet voor de menselijke samenleving(en). Het zou bijv. heel boeiend kunnen zijn in hoeverre bepaalde culturen, d.w.z. combinaties van gedragsregels, waarden, normen, schoonheidsidealen etc. niet met dezelfde of een analoge theorie kunnen worden verklaard. Maar voorzichtigheid blijft geboden.

# AANVALLEN OF TERUGTREKKEN

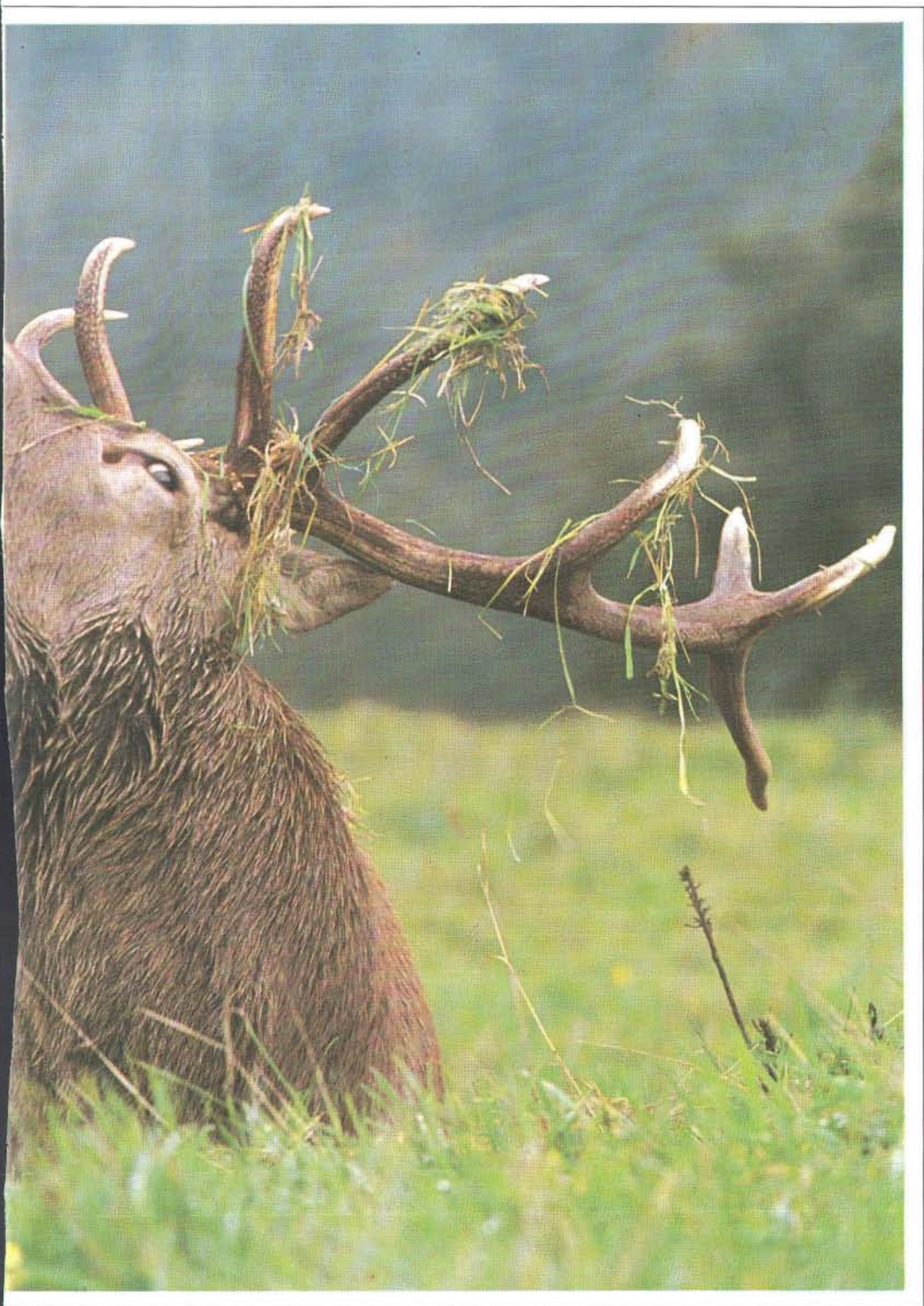
## Strategieën in het diergedrag

De laatste tien jaar is een nieuwe manier van denken over evolutionaire problemen in de biologie tot ontwikkeling gekomen. Deze heeft met name betrekking op de evolutie van dierlijk strijddrag. De speltheorie, oorspronkelijk ontworpen om menselijke conflicten te analyseren, ligt hieraan in een aangepaste vorm ten grondslag. Het kernbegrip in deze nieuwe modellen is de Evolutionair Stabiele Strategie (ESS), een strategie die, eenmaal ontwikkeld in een populatie, geen ruimte laat voor het binnendringen van een alternatieve strategie.

Het machtige geluid van een burlend hert geeft rivaliserende mannetjes informatie over het vechtvormogen van dit hert. Ze kunnen dan bepalen of het al dan niet de moeite waard is een gevecht aan te gaan.









Tot een tiental jaren geleden bestond het biologisch onderzoek aan conflicten tussen dieren voornamelijk uit het catalogiseren en beschrijven van de verschillende soorten strijd-lustig gedrag. Hierbij werd vooral het relatieve belang van interne versus externe stimuli (prik-kels) die tot het uitbreken van serieuze gevech-ten leiden, in beschouwing genomen. Het was bijvoorbeeld bekend dat vrouwelijke hormo-nen bij sommige diersoorten de agressiviteit doen toenemen terwijl bij andere soorten juist het omgekeerde het geval is en dat de status van een individu kan veranderen door de na-

bijheid van andere dieren. De rol die de evolu-tie speelt bij de vorming van dergelijke fenomenen werd echter nauwelijks in het onder-zoek betrokken.

In een conflict om een waardevol bezit, zo-als een territorium of een brok voedsel, gebrui-ken dieren de wapens die zij bezitten meestal niet ten volle. In plaats daarvan gedragen ze zich volgens bepaalde rituelen, ze gebruiken dreigementen en bluf terwijl ze ernstige ver-wondingen uit de weg gaan. Soms vindt een echt gevecht plaats maar gewoonlijk trekt een van de concurrenten zich voortijdig terug zo-

## Sociobiologie

De sociobiologie is een vrij jonge wetenschap. Evenals de ethologie bestudeert zij het gedrag van dier en mens. Terwijl de ethologie zich ech-ter bezighoudt met gedrag in het algemeen, richt de sociobiologie zich op de evolutie van sociaal gedrag in termen van natuurlijke selectie.

Uit selectie- en kruisingsexperimenten weet men dat ook gedrag op een erfelijke basis stoelt. Daaruit volgt dat gedrag, evenals alle andere erfelijke kenmerken, naar alle waarschijnlijkheid onderhevig is geweest aan selectiekrachten. De eenvoudigste versie van de evolutietheorie luidt, dat kenmerken van organismen die het meeste succes bij de voortplanting hebben, de grootste kans hebben om te blijven voortbestaan, ten koste van eigenschappen die minder adaptieve waarde bezitten. Als dat waar is, is het dus zaak om zodanig gedrag te vertonen, dat het aantal eigen nakomelingen zo groot mogelijk wordt, liefst ten koste van dat van anderen. Sociaal ge-drag lijkt hiermee moeilijk te rijmen; op het eerste gezicht lijkt dit type gedrag juist het eigen voortplantingssucces te verkleinen. Hoe zou dit sociale gedrag dus evolutionair voordelig kun-nen zijn? Deze vraag is niet nieuw: Charles Dar-win vroeg zich al af of ook de natuurlijke in-stincten en met name die van sociale insecten op basis van de natuurlijke selectie te verklaren wa-ren. Na hem heeft een groot aantal onderzoekers zich beziggehouden met wat in 1975 onder de noemer 'sociobiologie' werd samengevat.

De natuurlijke selectie werkt op het niveau van het individu: het zijn organismen die zich

voortplanten en sterven. Toch is natuurlijke se-lectie ook op een ander niveau te bestuderen: op gen-niveau (genen worden al dan niet doorgege-ven) of op soort-niveau (soorten sterven uit of overleven). (Gedrags)kenmerken die niet direct voordelig lijken op individu-niveau zouden kun-nen wijzen op het bestaan van zoiets als groeps-selectie, waardoor dergelijk gedrag gunstig is voor het voortbestaan van groep of soort als ge-heel.

In de sociobiologie worden de problemen be-naderd vanuit het gen-niveau, waarmee men op dezelfde lijn zit als de populatiegenetica. De se-lectie wordt dan gespecificeerd voor bepaalde ge-notypen in een bepaald milieu. Het voortplan-tingssucces van een genotype in dat milieu kan men uitdrukken in een getal, dat een maat is voor het voortplantingssucces ten opzichte van het standaardtype: de *relatieve fitness*. Hiermee kan men berekenen hoe in volgende generaties de allelfrequenties kunnen verschuiven. In het algemeen werken sociobiologen met eenvoudige modellen van genreservoirs, waarin ingewikkel-de sociale gedragingen gekoppeld worden aan eenvoudige genetische structuren. Vervolgens gaat men na hoe natuurlijke selectie verschuivin-gen in de allelfrequentie heeft kunnen bewerk-stelligen. Op die manier zou na te gaan zijn hoe bepaalde sociale gedragingen de zeef van de na-tuurlijke selectie hebben kunnen passeren.

De sociobiologen richten hun aandacht vooral op altruïsme (onzelfzuchtigheid), competitie, sexualiteit en groepsvorming, omdat dit type in-teracties op het eerste gezicht strijdig lijkt met in-dividuele selectie. In bepaalde gevallen heeft de sociobiologie sommige vormen van altruïstisch

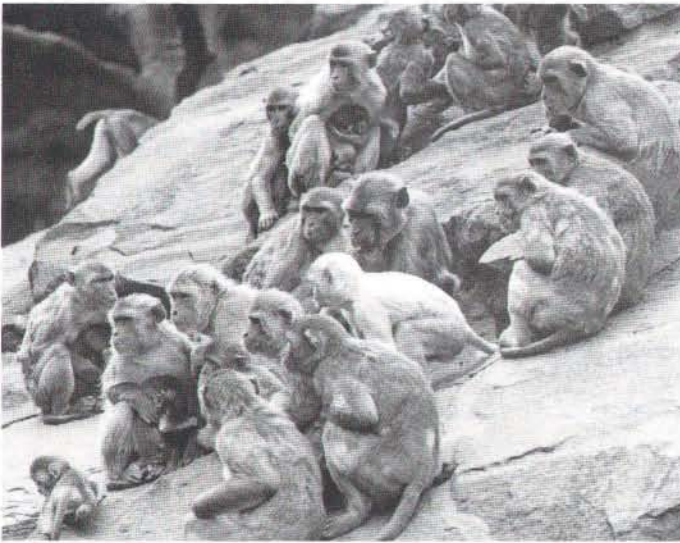


dat de ander bezit kan nemen van het omstreken object. Hoe wordt besloten wie wint en wie verliest? En waarom treden er zelden hevige escalaties op?

Reeds in de jaren zestig realiseerden ethologen (biologische gedragsonderzoekers) zich dat dergelijke vragen geformuleerd moeten worden in termen van de kosten en baten die gevechten voor de individuele dieren met zich meebrengen (zie intermezzo I). Pas nadat de biologen John Maynard Smith en George Price in 1973 de aanzet gaven tot een nieuwe manier van denken op dit gebied, kon men ko-

men tot een theorie met voorspellende waarde over het strijdgedrag van dieren. Zij toonden aan dat de zogenaamde speltheorie gebruikt kan worden bij het zoeken naar een verklaring voor hoe dit gedrag zich kan ontwikkelen door natuurlijke selectie van individuele strategieën.

De speltheorie werd voor het eerst opgesteld door Von Neumann en Morgenstern in 1944, met het doel om een optimale strategie te bepalen in menselijke conflictsituaties. Uitgangspunt is dat elke belanghebbende in een conflict voor zichzelf de beste logisch beredeneerde strategie uitwerkt, onder de aanname dat zijn



De sociobiologie is er nog niet in geslaagd om het evolutionaire voordeel van groepsvorming volledig te ontrafelen.

gedrag, dat op het eerste gezicht ten koste lijkt te gaan van het eigen voortplantingssucces, kunnen ontmaskeren als 'uitgekiend' eigenbelang. Op dezelfde manier zijn sexualiteit en groepsvorming te verklaren als de uitkomst van een gecompliceerde en nog grotendeels ondoorzichtige kosten-baten-analyse van Moeder Natuur.

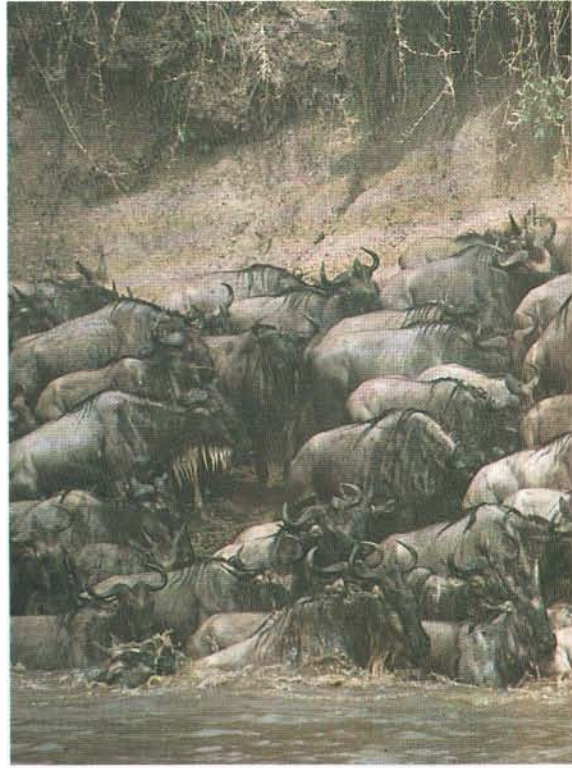
Naast veel bijval en waardering heeft de sociobiologie ook de nodige kritiek geogst, met name waar het de al te voortvarende en simplistische toepassing van bepaalde bevindingen op het menselijk gedrag betreft. Allerlei verschijnselen

als incest-taboe, polygamie en homosexualiteit werden sociobiologisch verankerd in de evolutiegeschiedenis van de mens, waarbij voorbijgegaan werd aan het feit dat gedrag – en zeker menselijk gedrag – door een groot aantal factoren wordt beïnvloed. Deze kunnen van biologische, maar evengoed van maatschappelijke, culturele of economische aard zijn. De sociobiologie beschrijft het biologische verhaal van het gedrag, maar dat is niet het hele verhaal.

**Drs. C. Sykora**

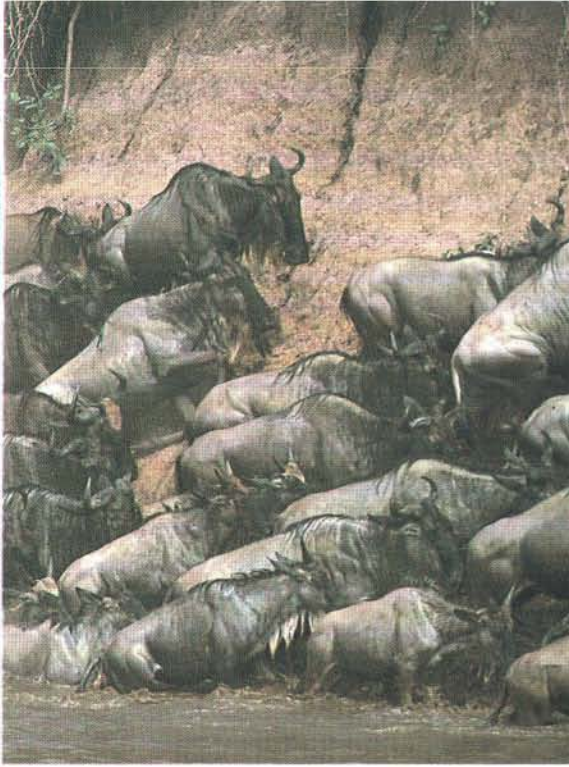
tegenstanders eveneens door de rede geleid worden (zie intermezzo II). Maynard Smith en Price ontwikkelden een aangepaste vorm van deze theorie, door het proces van natuurlijke selectie erin te verwerken en pasten die toe op het strijddrag van dieren. De voornaamste component van hun model is dat het geen zin heeft zich af te vragen hoe een individu zich het best in een belangenconflict kan gedragen, zonder daarbij te betrekken hoe de andere leden van de populatie (de soortgenoten die hetzelfde gebied bewonen) handelen. Met andere woorden, de strategie die een individu het best kan volgen om zijn eigen *fitness* zo groot mogelijk te laten zijn, hangt af van wat de soortgenoten in de buurt doen.

Sinds 1973 zijn de speltheoretische ideeën verder uitgebreid, wat geleid heeft tot de ontwikkeling van een aantal wiskundige modellen die aangeven welke strategieën door natuurlijke selectie begunstigd worden. Bovendien wordt deze nieuwe zienswijze de laatste jaren met succes gebruikt bij het oplossen van diverse andere problemen in de evolutionaire biologie, zoals op het gebied van de plantengroei en voortplanting, geslachtsverhoudingen, ouderlijke investering en de verbreiding van dieren.



Links: Een van de hoofdthema's van de sociobiologie is de seksualiteit. Deze wordt bestudeerd in het kader van het evolutionaire succes dat ermee behaald kan worden. Op de foto een vrijage van twee leeuwen.





Links: De gnoe of blauwe wildebeest (*Connochaetes taurinus*) is een dier dat in grote groepen leeft. Binnen die groepen zijn weer families te onderscheiden. Het groepsverband biedt de nodige, maar geen volledige bescherming tegen roofdieren.

Onder: Mannelijke kemphanen (*Philomachus pugnax*) lopen tijdens de baltsperiode in een prachtig gekleurd verenkleed, dat nog extra imposant wordt door de ontevoude halskraag en opgerichte nekpluimen. De pracht dient niet alleen om vrouwtjes te imponeren, maar ook om de rangorde tussen de mannetjes te bepalen. In hun gevechten gaat het vooral om de kans om als eerste te mogen paren. De kansen stijgen als de tegenstander ervan overtuigd is met een grote sterke haan te maken te hebben.



### Evolutionair Stabiele Strategie

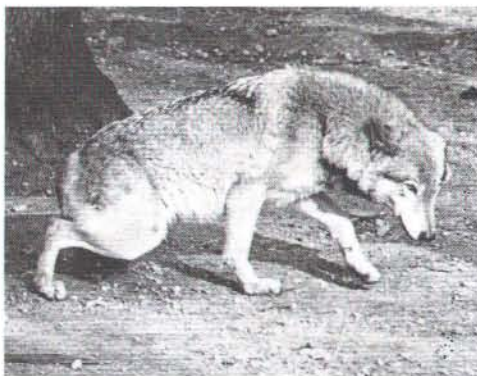
Het kernbegrip dat Maynard Smith en Price in de klassieke speltheorie introduceerden is de *Evolutionair Stabiele Strategie* (ESS). Stel dat de evolutie van het strijddrag verloopt als een spel waarbij de leden van een populatie (de 'deelnemers') verscheidene strategieën kunnen volgen. Met een strategie wordt hier bedoeld een onbewust gedragsprogramma dat door de genen wordt voorgeschreven. (Dus, zoals genen de kenmerken als oogkleur en staartlengte van een organisme bepalen, worden ze ook geacht verantwoordelijk te zijn voor het gedrag.) Dit evolutionaire spel zal als gevolg van natuurlijke selectie in de loop der tijd leiden tot een stabiele evenwichtstoestand, waarbij alle individuen een strategie volgen die hen een zo groot mogelijke reproductieve fitness geeft (fitness = te verwachten aantal volwassen nakomelingen).

Is de evolutionair stabiele strategie eenmaal in een populatie tot ontwikkeling gekomen,

dan is er geen ruimte voor het binnendringen van een alternatieve strategie. Met andere woorden: een strategie is evolutionair stabiel als er geen alternatieve strategie is die een grotere reproductieve fitness geeft. Direct na een ingrijpende verandering in bijvoorbeeld het milieu kan er een periode van onbestendigheid volgen. Maar wanneer een ESS eenmaal bereikt is zal deze, als de omstandigheden zich niet drastisch wijzigen, stand houden; natuurlijke selectie zal elke afwijking ervan genadeloos afstraffen.

Hoewel een ESS-benadering een bepaalde manier voorschrijft om een conflictmodel te analyseren, ligt de sleutel tot het begrijpen van het conflictgedrag zelf in een gedetailleerde en precieze modellering van de specifieke situatie waarin het conflict zich afspeelt. Laten we ter verduidelijking van deze gedachte nader ingaan op enige eenvoudige modellen die Maynard Smith toepaste op het strijddrag van dieren en deze illustreren met concrete voorbeelden.

Rechts: De plaats van een dier in de rangorde speelt evenzeer een rol in de manier waarop conflicten aangegaan en beslecht worden. De wolf op de linkerfoto vertoont een zogenaamde laag-houding in aanwezigheid van de ranghoge wolf rechts. Deze toont haar autoriteit met haar opgeheven staart, opstaande rugharen en gespitste oren.



### Het havik-duifspel

Veronderstel dat in een populatie van een bepaalde diersoort slechts twee strijdmethodes bestaan, te weten 'havik' en 'duif'. 'Haviken' vechten zo hard ze maar kunnen tot ze winnen of gewond raken. 'Duiven' dreigen alleen maar en zodra het gevecht escaleert gaan ze er vandoor. We nemen aan dat de leden van de populatie in willekeurig gekozen paren deelnemen aan de gevechten en dat na afloop elke individu een aantal nakomelingen van het eigen type voortbrengt dat in verhouding staat tot het aantal punten dat het in het gevecht verzameld heeft. In het havik-duifspel scoort de winnaar +50 punten en de verliezer 0. Ge-

wond raken kost 100 punten. Twee 'haviken' hebben een gelijke kans om te winnen of gewond te raken, ook twee 'duiven' hebben gelijke kansen, maar voeren een zeer lange strijd. Voor het tijdverlies dat hiermee gepaard gaat scoren beide -10 punten. (Deze waardepunten zijn willekeurig gekozen en doen niet ter zake, zolang een verwonding maar meer kost dan een overwinning oplevert.) In tabel 1 is het gemiddelde puntenaantal voor de vier soorten ontmoetingen samengevat.

Hoe ontwikkelt het evolutieproces zich nu in dit havik-duifspel? Als er een evolutionair stabiele strategie voor dit spel bestaat, zal de populatie zich er naar toe bewegen. De vraag is dus: is er een ESS voor het havik-duifspel?

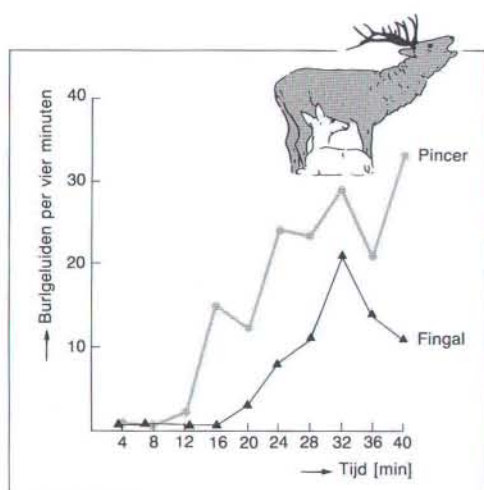
## Speltheorie

Reeds in 1927 legde de wiskundige John von Neumann de mathematische grondslag voor een model om conflictsituaties te analyseren: de speltheorie. Mede dankzij bijdragen van de econoom Oskar Morgenstern werd deze theorie in de jaren veertig verder ontwikkeld om gebruikt te kunnen worden bij de bestudering van besluitvormingsvraagstukken op militair, politiek, sociaal en economisch gebied.

Het doel van de speltheorie is het vinden van de optimale strategie voor een deelnemer in een belangenconflict, waarbij uitgegaan wordt van rationeel gedrag van alle belanghebbenden.

Met andere woorden, de cruciale aanname is dat partijen in een conflict identiek zullen handelen indien hun posities en belangen identiek zijn. De vraag die de speltheoreticus zich dus stelt luidt: wat is voor elke 'speler' de beste strategie, wetende dat de tegenstanders een zo groot mogelijke winst voor zichzelf uit het spel halen. Door dit strategische aspect te benadrukken stijgt deze benadering uit boven de waarschijnlijkheidsleer die zich tot louter kansberekening beperkt. Bij een praktische toepassing van de speltheorie stuit men vaak op problemen omdat het meestal moeilijk is nauwkeurig aan te geven van welke strategieën de spelers gebruik kunnen maken.





TABEL 1. Het Havik-Duif spel

Aanvaller	Verdediger	
	Havik	Duif
Havik	$\frac{1}{2}(50) + \frac{1}{2}(-100)$ = -25	+ 50
Duif	0	$\frac{1}{2}(50 - 10) + \frac{1}{2}(-10)$ = +15

Boven: Fig. 1. Het burlen geeft een indicatie van vechterscapaciteiten bij mannetjesherten. De grafiek vertoont het strijd-verloop tussen twee mannetjes: Pincer en Fingal genaamd. Naarmate de tijd verstrijkt verhogen beide herten hun burl-tempo tot een van hen (Fingal) naar het schijnt 'opgeeft'. Zij burl-tempo neemt snel af terwijl dat van Pincer nog toeneemt. Pincer kwam als winnaar uit deze strijd die om het bezit van een harem ontbrandde.

Een populatie die uit enkel 'duiven' bestaat is duidelijk niet evolutionair stabiel. In zo'n groep scoort elk individu gemiddeld +15 punten per gevecht, terwijl een havikmutant die in deze populatie opduikt het er veel beter vanaf brengt met een winst van 50 punten uit elk gevecht met een 'duif'. Als gevolg daarvan zal de havikstrategie zich dus verbreiden. Een populatie van alleen 'haviken' is echter ook niet stabiel. Ieder individu krijgt gemiddeld -25 punten, maar een duifmutant zal het beter doen met een score van 0 punten. Dus ook de duifstrategie zal zich verspreiden in een populatie van louter 'haviken'.

Toch bestaat er een ESS voor het voorbeeld van tabel 1, namelijk als 'haviken' en 'duiven' in een zodanige getalsverhouding voorkomen dat het gemiddeld aantal punten dat een havikstrategie oplevert gelijk is aan dat van een duifstrategie. In dat geval zal er geen tendens bestaan dat de ene strategie de andere langzamerhand verdringt. Deze stabiele verhouding kan als volgt berekend worden. Stel dat de 'haviken' een gedeelte  $h$  van de populatie uitmaken, dan is dat van de 'duiven' ( $1-h$ ). De gemiddelde score voor een 'havik' is de som van de scores die hij behaalt in ieder type gevecht, maal de kans dat hij dat type tegenstander ontmoet. Dus  $H = -25h + 50(1-h)$ . Analooq hieraan is de gemiddelde score voor een 'duif'  $D = 0h + 15(1-h)$ . Bij een evenwicht (ESS) is  $H$  gelijk aan  $D$ . Dit geeft de oplossing  $h = 7/12$  en  $(1-h) = 5/12$ .

Het evolutionaire evenwicht geeft dus een combinatie van 'haviken' en 'duiven'. Deze combinatie kan in twee vormen voorkomen:

- elk individu van de populatie is of een 'havik' of een 'duif', waarbij 7/12 van de populatie uit 'haviken' bestaat en 5/12 uit 'duiven';
- alle leden van de populatie volgen een gemengde strategie; ze spelen 'havik' met een waarschijnlijkheid van 7/12 en 'duif' met een van 5/12, waarbij in elke strijd de strategie willekeurig gekozen wordt.

Er zou geen evenwicht heersen als de verhoudingen in de populatie zouden afwijken van de twee genoemde mogelijkheden. In die situaties zou of de havik-, of de duifstrategie tijdelijk een groter succes hebben tot de populatie de ESS weer bereikt heeft.

In de praktijk is diergedrag in veel conflict-situaties variabel, maar dit bewijst nog niet dat dan sprake is van een gemengde evolutionair

stabiele strategie. Een concreet voorbeeld dat een tamelijk goede overeenkomst met het model vertoont werd ontdekt door Geoffrey Parker met zijn studie van het gedrag van de drekvlieg *Scatophaga stercoraria*.

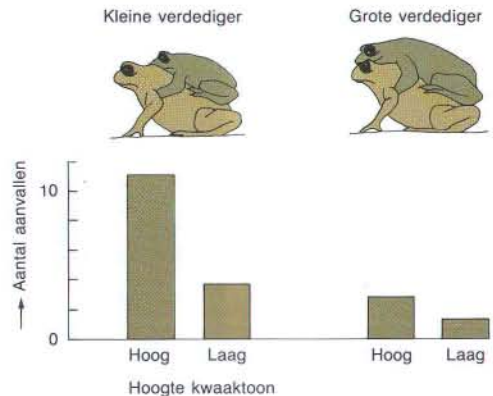
### ESS in de praktijk

De vrouwelijke drekvliegen komen op koeievladen af om er hun eieren in te leggen. Maar tevoren hebben hun mannelijke soortgenoten zich reeds bij deze uitwerpselen verzameld (gewoonlijk zijn ze al binnen vier minuten na de deponering ter plekke) en proberen te paren met de arriverende vrouwtjes. De concurrentie is hierbij zeer groot. Wanneer een koeievla nog vers is trekt hij veel vrouwtjes aan, maar deze aantrekkingskracht neemt af naarmate hij uitdroogt. Vanuit het spelmodel bekeken, heeft een paringslustig mannetje de keuze uit twee strategieën wanneer de koeievla waarbij hij de wacht houdt oud wordt. Hij kan òf vertrekken en een verse vla zoeken òf blijven. Het succes dat hij zal behalen met de keuze van zijn tactiek hangt af van het gedrag van de andere mannetjes. Als de meeste van zijn rivalen vertrekken zodra de vla wat oud wordt, kan hij het beste blijven. Hoewel er nog maar relatief weinig vrouwtjes zijn koeievla zullen bezoeken, zal hij weinig of geen competitie ondervinden bij het paren. Van de andere kant kan hij het beste vertrekken wanneer de andere

Rechts: Op een paaiplaats van kikkers is het gekwaak niet van de lucht. Let op de uitgestulpte kwaakblaas van het mannetje rechtsboven op de foto; ongetwijfeld slaat hij een bij zijn formaat passende toon aan.

Onder: Fig. 2. Deze figuur toont het effect van de kwaaktoonhoogte op de aanvallen van de pad *Bufo bufo*. Elke aanval werd in twee experimenten gebruikt. In het ene kreeg hij het kwaakgeluid van een klein mannetje te horen, in het andere dat van een groot. Twaalf aanvallen hadden een groot mannetje als rivaal, twaalf andere een klein.

Geheel linksonder: Deze baviaan tracht een zo gunstig mogelijke positie in een conflict te verwerven door eens stevig zijn tanden te laten zien.



mannetjes blijven. Met andere woorden, de enige evolutionair stabiele strategie is een mengvorm waarbij sommige mannetjes vroeg vertrekken terwijl andere blijven.

Speltheoretische analyse voorspelt dat met deze strategie, wanneer het systeem in evenwicht is gekomen, vroeg en laat vertrekkende mannetjes gemiddeld hetzelfde paringssucces hebben. Parker vond dit resultaat inderdaad. Dit betekent dat de drekvliegen een ESS voeren; natuurlijke selectie heeft de waarschijnlijkheid van het vertrek per tijdseenheid aangepast om dit te bewerkstelligen. Het mechanisme waarmee deze gemengde ESS wordt gehandhaafd is echter niet bekend. Misschien vertrekken sommige mannetjes altijd vroeg en andere altijd laat, maar ook is het mogelijk dat alle individuen hun strategie variëren.





### Asymmetrische conflictsituaties

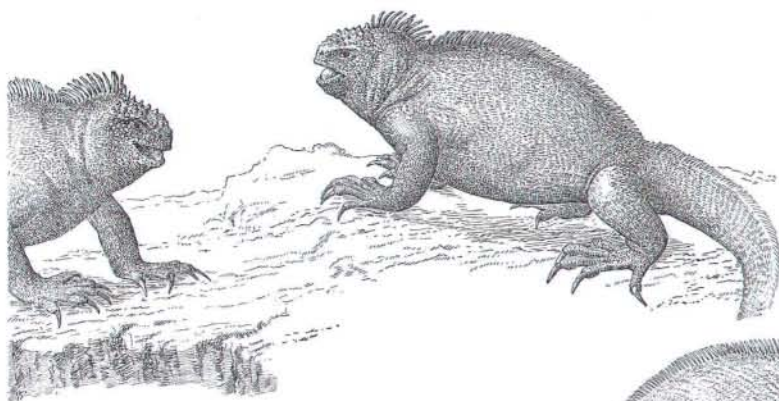
Een belangrijke reden waarom het havik-duif model vaak niet toegepast kan worden op competitie in de natuur, komt voort uit het feit dat deze gewoonlijk asymmetrisch is. Dat wil zeggen dat in tegenstelling tot de 'haviken' en 'duiven' van het besproken model, de rivalen meestal niet alleen van elkaar verschillen in de strategie die ze voeren, maar ook in een of meerdere andere opzichten. Zo zijn niet alle individuen van een populatie even sterk. De kosten die vechten tegen een sterke tegenstander met zich meebrengt zullen dus zeker hoger zijn dan bij een zwakke tegenstander. We verwachten daarom in het dierenrijk gedragsrituelen te zullen tegenkomen die ertoe dienen informatie over de vechtcapaciteit uit te wisse-

len, op grond waarvan een geschil kan worden beslecht zonder dat kostbare energie verspild wordt.

Bij veel kikker- en paddensoorten bijvoorbeeld, bestaat er een nauw verband tussen de hoogte van de kwaaktoon van het mannetje en zijn lichaamsgrootte: hoe groter het mannetje, hoe groter zijn stembanden en dus hoe lager de kwaaktoon. Zo lieten de Engelse biologen Davies en Halliday met het volgende experiment zien dat de pad *Bufo bufo* afgaat op de hoogte van de kwaaktoon van zijn rivaal om diens vechtcapaciteit in te schatten.

In een serie experimenten plaatsten de biologen telkens een middelgrote pad in een aquarium waarin zich reeds een parend paddenpaar bevond. Het mannetje van dit paar was of klein of groot en was tot zwijgen gedwongen





door een rubber band tussen zijn kaken. Telkens wanneer de 'vrijgezel' het paar aanraakte werd via een luidspreker in de buurt een kwaaktoon voortgebracht die van of een klein of een groot mannetje was opgenomen. Als het voortgebrachte geluid van een klein mannetje afkomstig was bleek de vrijgezel eerder geneigd te zijn om tot de aanval over te gaan, om te pogen de positie van de rivaal over te nemen. Maar hij was ook eerder tot actie bereid als de feitelijke bezitter van het vrouwtje klein was, waaruit blijkt dat de hoogte van de kwaaktoon niet als enige indicatie voor het vechtervermogen gebruikt wordt. Ook het type geluid dat mannetjes herten produceren, is een betrouwbaar signaal wat betreft hun vechtervermogen (zie fig. 1 en 2).

Maar zelfs wanneer twee tegenstanders niet in kracht voor elkaar onderdoen, zou een van hen eerder bereid kunnen zijn tot een escalatie van het conflict omdat hij meer baat heeft bij een eventuele overwinning. Voor een hongerig dier is het belangrijker een brok voedsel te bemachtigen dan voor zijn welvoorvoede rivaal; hij zal er harder voor vechten.

Verschil in kennis ten aanzien van de waarde van het omstreden object veroorzaakt eveneens een asymmetrie. Vrouwelijke iguana's (*Iguana iguana*) proberen ondergrondse gangen van elkaar te stelen. Deze worden gegraven om er eieren in te leggen. Zowel de bezitter als de indringster zijn waarschijnlijk eerder geneigd de gevechtshandelingen op te voeren wanneer de gang lang is, dan wanneer hij kort is. Een lange gang betekent namelijk een grotere winst omdat er minder graafwerk



nodig is voordat de eieren gelegd kunnen worden. Toch wint, wanneer het om een lange gang gaat, meestal de eigenares. Wellicht kan zij de waarde van de gang beter schatten, en zodoende haar strategie nauwkeuriger aanpassen.

### Bourgeoisstrategie

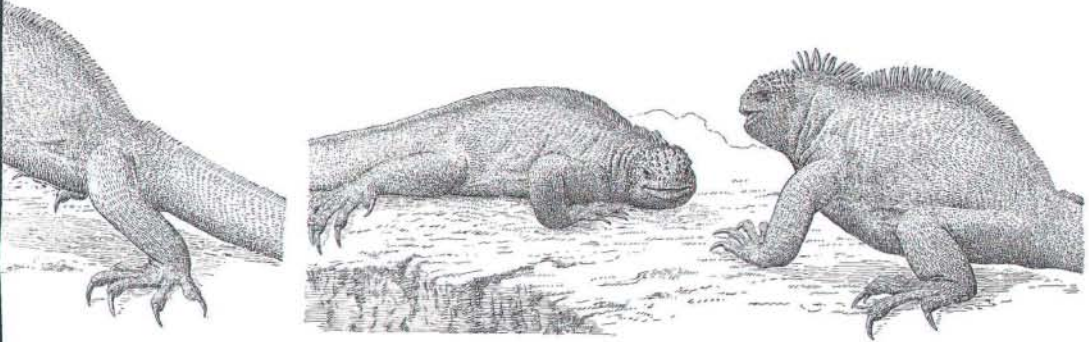
Een bijzondere plaats nemen die asymmetrische conflicten in waarbij, ongeacht de verschillen tussen de concurrenten, een geschil wordt opgelost volgens een of andere arbitrair vastgestelde regel.

Dit kan optreden wanneer het omstreden object niet erg waardevol is. Het is dan voor beide partijen voordelig om zo weinig mogelijk tijd en moeite te verspillen en het dispuut met een willekeurig vastgestelde spelregel op te lossen. Om het effect van een dergelijke ongecorrleerde asymmetrie te demonstreren, voegden Maynard Smith en Parker een nieuwe strategie aan het havik-duifspel toe. Naast de strategieën 'havik' en 'duif' werd deze derde strategie 'bourgeois' genoemd.

Een individu dat een bourgeoisstrategie volgt, speelt 'havik' in een gevecht waarin het



Een gevecht tussen twee iguana's ontstaat als zich een indringer (links) aanmeldt. De eigenaar van het bedreigde gebied richt zich op en knikt met zijn kop. Dan volgt een uitval en de indringer wordt met een kopstoot teruggejaagd. Als de indringer de strijd opgeeft, toont hij dat door op zijn buik te gaan liggen.



de eigenaar is van het betwist object en 'duif' als het dat niet is. De scores in de gevechten tussen 'haviken' en 'duiven' veranderen niet door de toevoeging van deze nieuwe strategie, maar de punten die verkregen worden in gevechten waar bourgeoisstrategen aan deelnemen, moeten worden uitgerekend.

Tabel 2 geeft de scores voor de negen strijdcombinaties die dit spel oplevert. Aangenomen wordt dat een bourgeoispeler in de helft van de gevechten eigenaar is. Uit tabel 2 blijkt dat de bourgeoisstrategie een ESS is. Als de gehele populatie deze strategie volgt escaleren de gevechten nooit en brengen ze gemiddeld 25 pun-

ten op. 'Haviken' hebben geen kans deze populatie binnen te dringen, want een gevecht levert hen slechts een karige 12,5 punten op. Hetzelfde geldt voor 'duiven' die zelfs nog minder, namelijk 7,5 punten behalen. Dit lijkt op het eerste gezicht een nogal opzienbarende conclusie. Toch zijn er verscheidene goed gedocumenteerde voorbeelden bekend die het bestaan van dit soort conflictoplossingen bevestigen.

### Eigenaar wint altijd

Met eenvoudige experimenten toonde Nick Davies in 1978 aan dat de bosvlinder, *Pararge aegeria*, geschillen om territoriumbezit met een arbitraire regel beslecht, overeenkomstig het bourgeoismodel. De mannetjes van deze vlindersoort concurreren om het bezit van zonnige plekken op de bosgrond, omdat dit de beste plaatsen zijn om vrouwtjes te vinden. Telkens wanneer een mannetje een reeds ingenomen plek binnenvliegt, wordt hij door de bezitter uitgedaagd. Getweeën maken ze een korte spiraalvormige vlucht omhoog, waarna na enige seconden een van beide in het bladerdak verdwijnt, terwijl de ander op de lichtplek neerstrijkt. Door de vlinders te merken kon Davies laten zien dat het altijd de oorspronkelijke eigenaar is die terugkeert. Hiervoor bestaan twee aannemelijke verklaringen. Het is mogelijk dat de spelregel: 'eigenaar wint, indringer trekt zich terug' gebruikt wordt teneinde deze disputen bij te leggen. De spiraalvlucht dient er in dat geval toe de indringer te informeren dat de plek bezet is. Maar het is ook niet uitgesloten dat alleen relatief sterke vlinders een territorium bezitten en de spiraalvlucht gebrui-

TABEL 2. Het Bourgeois-spel

Aanvaller	Verdediger		
	Havik	Duif	Bourgeois
Havik	-25	+50	+12.5
Duif	0	+15	+7.5
Bourgeois	-12.5	+32.5	+25

ken om hun kracht te demonstreren. Davies heeft een gegrond vermoeden dat de eerste verklaring de juiste is, dat wil zeggen dat deze bosvliinder hier de bourgeoisstrategie volgt. Allereerst bleek dat 90 procent van de gemerkte indringers later wel een territorium bezat. Ten tweede voerde Davies enige experimenten uit waarin hij de eigenaar van een territorium verwijderde, wachtte tot een nieuw mannetje zich op deze plaats gevestigd had, waarna hij de oorspronkelijke eigenaar weer op zijn oude plek vrij liet. In alle gevallen bleef de nieuwe eigenaar ongeslagen. Tevens toonde hij aan dat twee vlinders hetzelfde territorium dat ze om beurten in bezit hadden gekregen telkens met succes tegen elkaar konden verdedigen (zie fig. 3).



Boven: De grijze junco (*Junco hyemalis*) vertoont een duidelijke bourgeoisstrategie bij de verdediging van het nest.

Tenslotte vroeg Davies zich af: als deze bosvlinders in conflicten om een territorium de spelregel gebruiken 'de eigenaar wint altijd', wat gebeurt er dan wanneer ze beide 'denken' eigenaar te zijn? Om deze situatie te bewerkstelligen liet hij een tweede mannetje in een territorium vrij zonder dat de eigenaar dit bemerkte. Vroeg of laat ontdekte dan een van beide vlinders de ander toch. Het gevolg was een opwaartse spiraalvlucht die gemiddeld tien keer zo lang duurde als een normale vlucht. In dit laatste experiment ontbraken de spelregels voor het conflict tussen eigenaar en indringer, resulterend in een geëscaleerde strijd.

### Eigenaar verliest altijd

Hoewel de regel 'eigenaar wint' gewoonlijk wordt gebruikt als een arbitraire manier om conflicten bij te leggen, duikt de regel 'indringer wint' ook nu en dan op. Een voorbeeld is het gedrag van de Mexicaanse spin *Oecobius civitas*. Deze spin leeft in groepen maar ieder individu bezit zijn eigen nest. Als een spin uit zijn hol wordt gedreven is de kans groot dat hij bescherming zoekt in de schuilplaats van een andere spin. Mocht deze thuis zijn wanneer de indringer binnen komt, dan valt hij niet aan maar schiet naar buiten en zoekt zelf een nieuw toevluchtsoord. Op die manier kan, wanneer één spin eenmaal verstoord is een heel verplaatsingsproces op gang komen, als gevolg waarvan de meerderheid van de spinnen van schuilplaats wisselt.

Een niet minder opmerkelijke observatie van een gelijksoortige bourgeoisstrategie werd beschreven door een lezer van de 'Times' in een ingezonden brief: 'Reeds enige jaren valt het mij op dat een meeuw die een vlaggestok als uitkijkpunt gebruikt, onvoorwaardelijk plaats maakt voor een andere meeuw die deze plaats wil gebruiken. En dit gebeurt onafhankelijk van de grootte van de twee vogels'.

### Gecomplexeerde asymmetrische conflicten

De eerste modellen gingen uit van vereenvoudigde aannames, waardoor ze alleen geschikt zijn voor het verklaren van eenvoudige situaties. Meer recente modellen gaan uit van meer realistische veronderstellingen en zijn subtieler van ontwerp. Hierdoor zijn ze beter te gebruiken om het strijdgedrag in meer gecomplexeerde situaties te verklaren en zullen toekomstige modellen ook nauwkeurige voorspellingen kunnen doen. Een goed voorbeeld van deze tendens is de studie van Susan Riechert aan het gedrag van de fuikwebspin *Agelenopsis aperta*. De vrouwtjes van deze spinne-soort duelleren om het bezit van de webben. Gedurende 98 procent van een duel houden beide rivalen zich muisstil; vermoedelijk tasten ze in die tijd elkaars krachten af. De omstreken webben zijn niet alle even waardevol, de temperatuur ter plaatse en de eventuele aanwezigheid van prooidieren hebben hier bijvoorbeeld invloed op. Er zijn goede redenen om aan te nemen dat alleen de eigenares de waarde



van het web kent. Zij kan dus afhankelijk van deze waarde een gevechtsstrategie kiezen, iets dat voor haar tegenstandster niet mogelijk is.

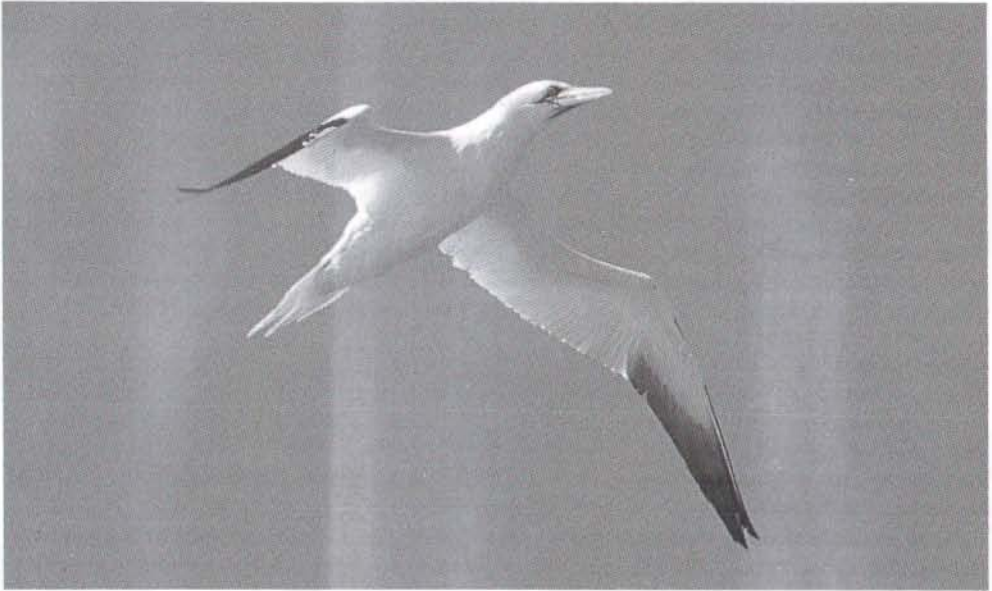
Riechert bestudeerde enige tientallen duellen door individuele vrouwtjes vrij te laten in de buurt van een reeds in bezit genomen web. Hoe waardevoller een web was hoe langer de strijd duurde. De minste tijd namen die conflicten in beslag waarbij de eigenares aanzienlijk groter was dan de indringster. De eerstgenoemde ging dan gewoonlijk al snel over tot het benaderen van haar tegenstandster, zonder eerst een lange observatieperiode op afstand in acht te nemen. De kleine spin reageerde dan meestal met een gehaaste aftocht. Een klein verschil in grootte (10 procent) leidde tot een veel langere observatieperiode, waarna toch de

eigenares op den duur de strijd won. Maar de langste en felste disputen deden zich voor als de eigenares iets kleiner was dan haar rivaal en het web erg waardevol.

Voor dit vrij gecompliceerde gedrag wist Maynard Smith een speltheoriemodel te ontwikkelen waarin de feitelijke situatie redelijk overeenkomt met twee mogelijke ESS-en. Deze twee ESS-en vertonen allebei de volgende kenmerken: als er een aanzienlijk verschil in grootte is tussen de spinnen, wint de grootste; als dit verschil niet groot is, hangt de strategiekeuze van de eigenares af van de waarde van het web. Er is een escalierzone in het geval de tegenstandsters even groot zijn en het web waardevol is. Echter, slechts één van de ESS-en heeft het kenmerk dat langdurige gevechten



Links: Een sport die nadrukkelijk lijkt te zijn gebaseerd op het volgen van een havikstrategie is American football. Imposant opgevoelde atleten gaan elkaar agressief te lijf. Geen wonder dat er de nodige gewonden vallen. Ook hier kan het profijtelijk zijn de confrontatie uit de weg te gaan. Veel punten worden gescoord door relatief lichte spelers die door hun snelheid en wendbaarheid in staat zijn zich de zwaargewichten van het lijf te houden.



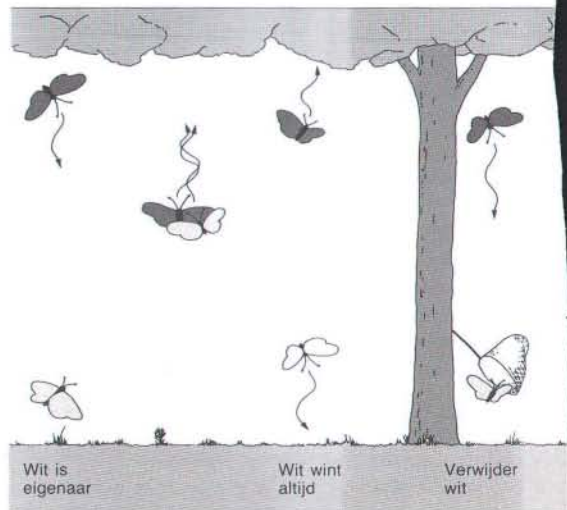
het vaakst voorkomen wanneer de eigenares iets kleiner is dan haar rivaal, zoals Riechert observeerde. Niettemin bestaat er volgens Maynard Smith vanuit het model geen voorkeur voor een van beide ESS-en. Vandaar dat dit model wel de observatie van Riechert kan verklaren maar niet voorspellen. Deze *Agele-nopsis*-conflicten zijn hiermee dus nog niet volledig geanalyseerd en de bestaande modellen zullen nog meer verfijnd moeten worden.

### Slotbeschouwing

De ESS-modellen gaan uit van het standpunt dat natuurlijke selectie dieren produceert die goed zijn aangepast aan hun omgeving. Het doel van de modellen is te weten te komen hoe ze zijn aangepast. Er zijn echter verschillende redenen aan te geven waarom deze veronderstelling wel eens niet volledig juist zou kunnen zijn. De modellen leggen grote nadruk op evenwichtssituaties, terwijl de evolutie een proces is van veranderingen. Misschien zijn veel van de systemen die bestudeerd worden niet in evenwicht, maar zijn de aanpassingsprocessen als gevolg van een recente verandering in de omgeving nog in volle gang. Een bekend voorbeeld uit de ornitologie (studie van vogels) illustreert dit punt aardig. Als regel

Boven: De Jan van Gent (*Sula basana*) legt normaal gesproken maar één ei. Niettemin is hij in staat twee jongen tegelijk groot te brengen. Het is denkbaar dat door de verbeterde voedselsituatie, deze vogels over enige tijd normaal nesten met twee eieren gaan produceren.

Onder: Fig. 3. Met dit experiment wordt aangetoond dat de mannelijke bosvlinders (*Pararge aegeria*) de bourgeoisiestrategie gebruiken om hun conflicten om territoriumbezit op te lossen. Wie van de twee mannetjes de strijd wint, hangt alleen af van wie de eigenaar is.





bestaat het legsel van de Atlantische Jan van Genten (*Sula bassana*) uit één enkel ei. Toch slaagt een ouderpaar er gemakkelijk in een tweede kuiken groot te brengen wanneer een ei aan het nest wordt toegevoegd. Kennelijk is een legsel van één ei niet een optimale reproductiestrategie. De recente verbetering in het voedselaanbod, in de vorm van afval van vissersschepen, kan een verklaring zijn voor deze niet optimale legselgrootte. Mogelijk is er sinds deze omgevingsverandering nog niet voldoende tijd verstreken om door natuurlijke selectie de legselgrootte aan te passen. Deze verklaring wordt ondersteund door het feit dat Jan van Genten die het zuidelijk halfrond bewonen (*Sula capensis*), waar veel minder gevist wordt, niet in staat zijn een tweede jong groot te brengen.

Een argument dat voor kleine populaties een rol speelt, is dat de genetische variatie in de populatie onvoldoende kan zijn om nieuwe strategieën te ontwikkelen. Wanneer het milieu verandert, kunnen aanpassingen aan de nieuwe situatie alleen maar plaatsvinden indien de populatie voldoende genetische variatie bezit. En hoe kleiner de populatie, hoe groter de kans dat die genen die in de nieuwe omgeving voordelig zouden zijn, in het verleden, toen de oude omgeving hen niet bevoordeelde, volledig uit de populatie verdwenen zijn.

Een heel ander punt van kritiek op de ESS-modellen komt van de kant van de populatie-

genetici. De ESS-theoreticus neemt aan dat genen bestaan maar houdt geen rekening met specifiek genetische mechanismen. De populatiegeneticus is er echter in geïnteresseerd of de evenwichten die volgens de modellen tot stand komen wel mogelijk zijn op grond van de erfelijkheidsregels. Een bevredigend antwoord op dit probleem moet nog gevonden worden.

Hoewel inderdaad nog lang niet alle problemen aangaande de ESS-modellen zijn opgelost, is het argument dat het sterkst in hun voordeel spreekt, dat ze telkens weer een bijdrage leveren aan het verkrijgen van meer inzicht in diergedrag. We hoeven alleen maar de oudere ethologische literatuur over strijddrag na te slaan om ons te realiseren dat de speltheoretische analyse van een beschrijvende naar een verklarende theorie leidt.

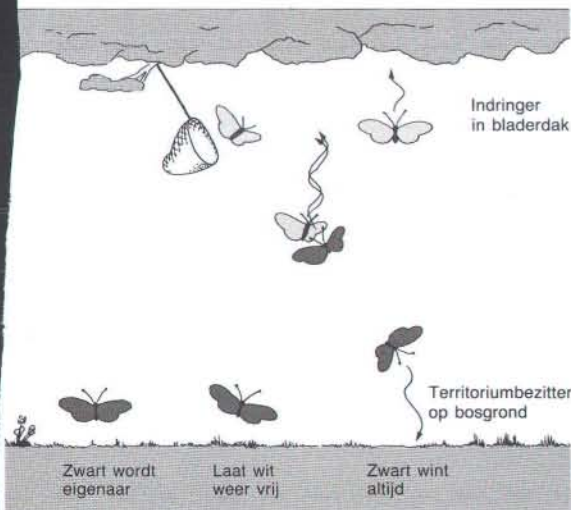
Van de toekomst mogen we verwachten dat enerzijds de modellen verfijnder zullen worden (= meer in overeenstemming met de werkelijkheid), waardoor ze preciezere voorspellingen aangaande het strijddrag mogelijk zullen maken (zoals: wanneer moet er gevochten worden en hoe lang moet de strijd worden volgehouden). Anderzijds is deze ontwikkeling alleen mogelijk indien tegelijkertijd doelgericht veldonderzoek verricht wordt om uit te zoeken welk scala aan strategieën de betreffende partijen ter beschikking staat en om de kosten en baten te meten die de respectievelijke strategieën met zich meebrengen.

#### Literatuur

- Immelmann, K., (red.), (1976). *Grzimek, Het leven der dieren - Gedrag*. Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen. ISBN 90-274-8630-1.
- Tinbergen, N., (1976). *Het dier en zijn wereld*. Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen. ISBN 90-274-5850-2.
- Waal, F. de, (1982). *Chimpanseepolitiek. Macht en seks bij mensapen*. Becht, Amsterdam. ISBN 90-230-0447-7.
- Maynard Smith, J., (1982). *Evolution and the theory of games*. Cambridge University Press.


#### Bronvermelding illustraties

- Bruce Coleman Ltd., Uxbridge, Middlesex: pag. 2-3, 6, 6-7, 10.
- Jan van de Kam, Griendtsveen: pag. 7, 11, 16.
- R. van den Tempel, T. van den Heiligenberg, Utrecht: pag. 8, 8-9.
- John Langley Howard/Scientific American: pag. 12-13.
- Wayne Lankinen/Aquita, Studley, Warwickshire: pag. 14.
- T. Spagone/ABC-press, Amsterdam: pag. 15.









**G. Bodifée**  
*Planetarium  
Brussel*

## De manen van het zonnestelsel

Toen drie en een halve eeuw geleden voor het eerst een telescoop op de hemel werd gericht, waren de manen van Jupiter de eerste nieuwe hemellichamen die werden ontdekt. Het was een schokkende ontdekking omdat ze bewees dat de aarde met haar ene maan geen bevoorrechte planeet is. Een halve eeuw later zag Christiaan Huygens ook nog een maan bij Saturnus. Er zouden er nog veel volgen. Op dit ogenblik zijn er vierenvestig manen met zekerheid bekend. Rond alle planeten, behalve Mercurius en Venus, wentelen één of meerdere manen.

Tot voor kort stonden de manen in de schaduw van de grotere en meer indrukwekkende planeten. Ze zijn doorgaans nogal klein uitgevallen en trokken niet sterk de aandacht. Toen echter de Voyager-satellieten Jupiter en Saturnus passeerden en duizenden foto's doorseinden, waren het de manen van deze planeten die de show stalen.

In dit artikel plaatsen we deze tweederangs burgers van het zonnestelsel in de schijnwerper. Het is helaas niet mogelijk alle facetten ervan te belichten. We concentreren ons daarom op hun fysische en chemische eigenschappen.

# SATELLIETEN EN DUBBEL PLANETEN

De hier getekende gebeurtenis vindt pas plaats in augustus 1989. Dan zal Voyager 2 de planeet Neptunus bereiken. Dan krijgen we ook voor het eerst close-ups van haar grootste maan: Triton.

## Manen dichterbij

Vóór de opkomst van het ruimte-onderzoek bleven alle manen, behalve de aardse maan, slechts lichtpuntjes of in het allerbeste geval uiterst kleine schijfjes, ook in de grootste telescopen. Details van betekenis waren niet waarneembaar. De astronomen volgden de bewegingen van de manen rond hun planeet en konden daaruit met behulp van de gravitatie-theorie, de massa van de omcirkelde planeet nauwkeurig berekenen. Waarschijnlijk was dit het interessantste wetenschappelijk resultaat dat direct voortvloeide uit het bestaan van deze maantjes. Het was de onuitgesproken maar algemene opvatting dat al deze manen niet meer te bieden zouden hebben dan onze eigen maan, ook al niet het meest fascinerende lichaam in het zonnestelsel. De planeten boden méér afwisseling en vestigden alle aandacht op zich. Wel werd de lijst bekende manen geleidelijk aan steeds langer.

In 1877 ontdekte Asaph Hall in Washington, D.C. twee zeer kleine maantjes bij Mars, die hij *Phobos* en *Deimos* noemde. Merkwaardig genoeg was het bestaan ervan in 1726 reeds voorspeld door Jonathan Swift in zijn *Gulliver's Travels*. In een vreemde vlaag van helderziendheid vermeldt Swift niet enkel het bestaan van twee Mars-manen, maar plaatst ze ook nog in de juiste omloopbanen. Zelfs het feit dat de binnenste maan sneller rond de planeet wentelt dan deze rond haar as, wat voor-

dien bij geen enkele maan werd vastgesteld, heeft Swift voorspeld.

Van Phobos en Deimos is vanaf de Aarde niet veel te zien. Het zijn uiterst zwakke lichtpuntjes in de buurt van de heldere Marsschijf. Voor het eerst werden de beide Mars-maantjes in 1971 duidelijk en van nabij gezien door de camera-ogen van Mariner 9, de eerste kunstmaan die om Mars draait. De meer geperfectioneerde Viking-orbiters hebben vanaf 1976 aanvullende en gedetailleerde opnames door-geleid.

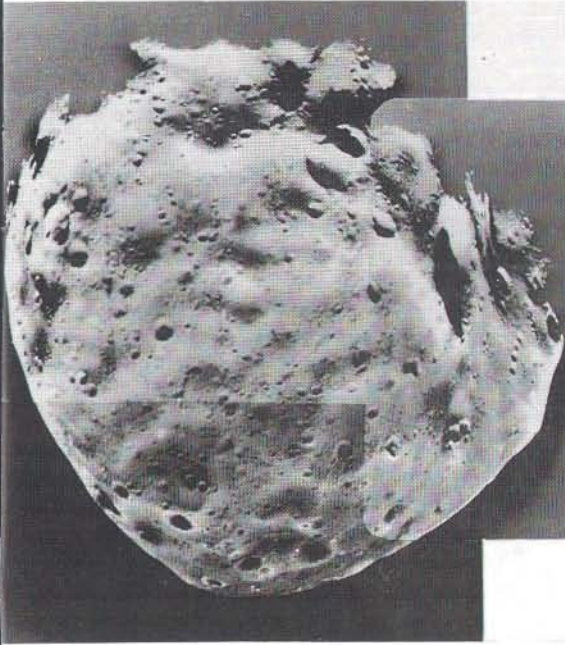
Wat de foto's onthulden was tegelijk adembenemend en bizar: hemellichamen met de surrealistische vorm van oude, verschrompelde aardappels, spookachtig beschenen door de zon. Phobos bleek een onregelmatig rotsblok te zijn, minder dan dertig kilometer in diameter en erg verminkt door een paar grote inslagkraters en door lange groeven die als krasen over het oppervlak lopen. Deimos is nog kleiner en bezit een meer egaal, minder bekraterd oppervlak. Beide maantjes zijn donker als kool.

Behalve de aardse maan, vormen de beide Mars-lilliputters de enige manen in het binnenste deel van het zonnestelsel. Bij Mercurius en Venus werden nooit manen gevonden, wat niet verwonderlijk is. Zo dicht bij de zon kan een omloopbaan rond de planeet niet stabiel zijn. Verderop in het zonnestelsel, voorbij de gordel van de planetoïden, waar de reuzenplaneten rondlopen, was de oogst veel rijker.

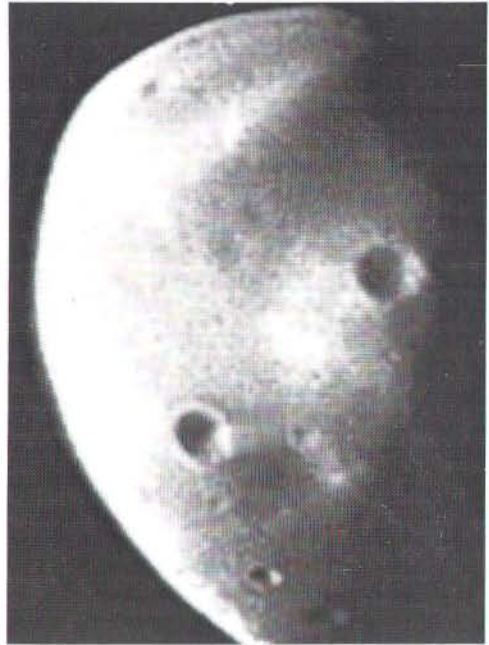
TABEL 1. De planeten van het zonnestelsel.

	Gemiddelde afstand tot de zon [10 <sup>6</sup> km]	Equatoriale diameter [km]	Massa [Aarde = 1]	Bekend aantal manen
Mercurius	58	4880	0,055	0
Venus	108	12100	0,815	0
Aarde	150	12756	1,000	1
Mars	229	6790	0,107	2
Jupiter	780	142800	317,9	16 + ring
Saturnus	1430	119300	95,1	17 + ringen
Uranus	2880	51800	14,5	5 + ringen
Neptunus	4510	49500	17,3	2
Pluto	5920	3000	0,002	1





Boven: Een mozaïekfoto van het Mars-maantje Phobos, opgenomen door Viking 1, van een afstand van 480 kilometer. Het maantje is onregelmatig van vorm en heeft een pokdalig uiterlijk door de talrijke inslagkraters. De diameter op deze foto is ongeveer 19 kilometer verticaal, 21 kilometer horizontaal.



Boven: Het Mars-maantje Deimos gefotografeerd door Viking 1. Deimos is maar half zo groot als Phobos. Het oppervlak is minder getekend door inslagkraters.

## De buitenplaneten

De vier manen die Galilei in 1610 bij Jupiter vond, bleven lange tijd de enige. Ze dragen de mythologische namen *Io*, *Europa*, *Ganymedes* en *Callisto* (in volgorde van toenemende afstand tot de planeet). Reeds met een kleine telescoop zijn ze te zien en kan men de altijd wisselende standen rond de planeet gadeslaan. Pas op het einde van de negentiende eeuw breidde het groepje ontdekte manen zich uit. Men vond eerst een klein maantje nog dichter bij de planeet dan *Io*. Daarna nam het aantal snel toe. Thans zijn er zestien Jupiter-manen bekend, maar het werkelijke aantal zal ongetwijfeld hoger zijn.

Er zijn vier groepen in deze manen te onderscheiden. Het dichtst bij de planeet loopt een eerste groep van kleine maantjes die alle in minder dan één dag om Jupiter wentelen. *Amalthea* is er de grootste van. Hun banen liggen alle vrijwel perfect in het equatorvlak van

de planeet. Daarbuiten bevindt zich de groep der vier Galileïsche manen; het zijn veruit de zwaarste manen van het hele stelsel. *Ganymedes* is groter dan de planeet Mercurius en is de grootste maan van het zonnestelsel. Nog verder loopt een groep kleine maantjes in ongeveer 250 dagen rond de planeet, het baanvlak maakt een hoek van tussen 25 en 30° met het equatorvlak. Helemaal aan de buitenkant, op meer dan 20 miljoen kilometer van Jupiter bevinden zich nog enkele kleine manen. De banen ervan hebben de bijzondere eigenschap dat zij in *retrograde* zin doorlopen worden, d.w.z. dat deze maantjes om de planeet wentelen in een richting die tegengesteld is aan de eigen rotatie van de planeet.

Saturnus is het meest beroemd omwille van haar prachtige ringenstelsel. Maar zij is niet als enige in het bezit van ringen; ook Jupiter en Uranus hebben er, al zijn die niet zo uitgestrekt. Deze ringen bestaan uit een zeer groot aantal kleine brokstukjes die om de pla-



neet wentelen, stuk voor stuk minuscule maantjes. Daarnaast heeft Saturnus meer dan genoeg 'volwassen' manen. Zeventien zijn er tot nog toe geregistreerd, maar ongetwijfeld geldt hetzelfde als bij Jupiter, het moeten er veel meer zijn.

Niet minder dan acht Saturnus-manen zijn ontdekt op het einde van de jaren zeventig en begin van de jaren tachtig, toen we vanaf Aarde de ringen precies op hun kant zagen. Een dergelijke stand biedt een gunstige gelegenheid om maantjes dicht bij deze ringen op te merken. Bovendien kwamen in 1980 en 1981 de Voyagers 1 en 2 bij Saturnus aan en deden hun duit in het zakje.

Alle Saturnus-manen zijn tamelijk klein uitgevallen, op één na. Ze hebben alle een straal van minder dan 800 km (meestal véél minder), behalve *Titan*, die met zijn 2575 km weinig onder doet voor Ganymedes. Titan mag dan net niet de spits afbijten, zij is in menig opzicht de interessantste maan van het zonnestelsel, waarschijnlijk is het de enige met een substantiële atmosfeer (misschien bezit Triton van Neptunus ook een atmosfeer) en de enige met dikke wolken van organisch materiaal.

Uranus krijgt deze maand nog bezoek van een ruimteschip en onze kennis van de planeet en haar satellieten is voorlopig dan ook nog zeer beperkt. Vijf manen zijn bekend. Hun opvallendste kenmerk is dat ze op regelmatig gespreide afstanden in vrijwel perfect cirkelvormige banen vrijwel precies in het equatorvlak van de planeet lopen. In het geval van Uranus is dit opmerkelijk, aangezien het equatorvlak van de planeet bijna loodrecht op het baanvlak staat. De planeet is door een onbekende oorzaak 'gekanteld'. Maar haar manen zijn blijkbaar meegekanteld! Deze vreemde situatie heeft niet verhinderd dat Uranus het meest regelmatige manenstelsel in het zonnestelsel bezit.

Van Neptunus zijn slechts twee manen bekend en het zijn allebei vreemde vogels. De grootste, *Triton*, loopt op een retrograde baan, wat ongehoord is voor een maan van die afmetingen. Er is nog een klein maantje, *Nereïde*, dat op een sterk gehelde en zeer langgerekte baan rondloopt. Vanuit dynamisch oogpunt bezit Neptunus het meest onregelmatige manenstelsel in het zonnestelsel. Op Triton is langs spectroscopische weg de aanwezigheid van vast of gasvormig methaan vastgesteld.

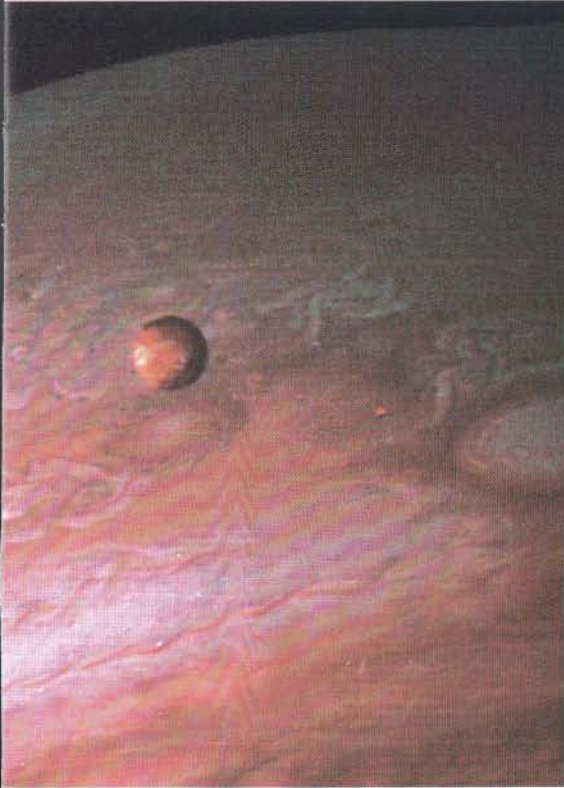


Misschien is deze kille, verre maan ingeduffeld in een beschermende atmosfeer.

De aanwezigheid van een derde maan bij Neptunus wordt vermoed, maar kon nog niet bevestigd worden. In 1981 hebben waarnemers vastgesteld dat een ster die door Neptunus bedekt zou worden, enkele minuten vóór de eigenlijke bedekking even uitdoofde. Zij verklaren dit door aan te nemen dat een onbekend voorwerp in de buurt van de planeet op dat ogenblik voor de ster schoof.

En dan is er nog de verre Pluto, waarvan men lange tijd dacht dat hij alleen aan de hemel stond, maar die uiteindelijk toch in het bezit van een maan bleek te zijn. Die werd in 1978 door James Christy en Robert Harrington van het US Naval Observatory in Flagstaff, Arizona, als een kleine uitstulping van het Pluto-schijfje waargenomen op opnamen van de planeet. Zij doopten haar *Charon*. De maan kan vanaf Aarde niet goed gescheiden van de planeet gezien worden, zodat enige





Links: De maan lo schuift vóór Jupiter. De opname werd gemaakt door Voyager 2 op een afstand van 12 miljoen kilometer van Jupiter.

Onder: Een Voyager 1-opname van Saturnus, haar ringen en één van haar manen, Dione, van een afstand van 106 miljoen kilometer.

Linksonder: Met behulp van een 2,5 m telescoop in Chili is deze opname van Uranus en haar manen gemaakt. De planeet bevindt zich rechts in het midden; ook de dunne ringen er om heen zijn zichtbaar. De stip rechts van de planeet is Miranda, boven de planeet zien we Umbriel en Titania, er links onder Ariel. Aan de linkerkant van de foto tenslotte Oberon. Net links van Uranus staat een ster. De vlek rechtsonder en de strepen zijn beeldfouten. Deze maand komen de eerste Voyager foto's vrij.



twijfel bleef bestaan over het werkelijke bestaan ervan. In begin 1985 lieten de onderlinge posities van Aarde, Pluto en het baanvlak van Charon echter toe dat deze laatste bij elke omloop eenmaal vóór de planeet schuift en er één maal achter verdwijnt. Telkens meten we dan een kleine lichtverzwakking, die het bewijs levert dat Charon wel degelijk bestaat.

Pluto heeft dus een maan. En wat voor één! De diameter ervan is ongeveer de helft van die van de planeet zelf, dat is abnormaal groot. Het is een situatie die herinnert aan die van de Aarde. Ook onze maan is ongewoon groot en zwaar in verhouding tot de planeet waar ze omheen wentelt.

### **Twee dubbelplaneten**

De massa van Phobos is ongeveer zestig miljoen maal kleiner dan die van Mars. Io is aanzienlijk groter en zwaarder dan Phobos maar is toch nog altijd twintigduizend maal lichter

dan Jupiter. Het is normaal gesproken zo dat de massa van een maan vele duizenden tot miljoenen malen kleiner is dan die de bijbehorende planeet. Er zijn twee uitzonderingen. Pluto met Charon en de Aarde met haar maan. Onze maan is slechts tachtig maal minder zwaar dan de aarde. De massa van Charon is niet precies bekend maar wordt geschat op een tiende van die van Pluto.

Het is duidelijk dat we in beide gevallen niet zozeer te doen hebben met een planeet en haar maan, dan wel met wat men een *dubbelplaneet*

gendeel. Op verschillende plaatsen worden enorme wolken van hoofdzakelijk zwavel en zwaveldioxide met grote kracht omhoog geslingerd. Het materiaal bereikt een hoogte van tientallen, soms honderden kilometers en valt dan in een waaivormige boog terug naar het oppervlak. Nabij de plaatsen van eruptie zijn grillige lavastromen van vloeibaar zwavel te zien. Toen Voyager 2 vier maanden na Voyager 1 bij Jupiter aankwam, waren zes van de acht ontdekte vulkanen nog steeds volop actief terwijl ook een negende in actie was gekomen.



zou kunnen noemen, naar analogie met dubbelsterren. Ruim de helft van de sterren zijn dubbelsterren of zelfs meervoudige sterren, twee van de negen planeten blijken dubbelplaneten te zijn.

### De Galileïsche manen

Toen Voyager 1 in 1979 bij Jupiter aankwam voor een gedetailleerde observatie van de planeet, stonden ook nabij-opnamen van de vier Galileïsche manen op het programma. Niemand kon toen nog vermoeden dat het resultaat zo spectaculair zou zijn. In plaats van zoiets als vier evenbeelden van de aardse maan te vinden, werd men geconfronteerd met vier totaal verschillende werelden waarop nooit eerder geziene activiteiten en reliëfvormen werden aangetroffen.

Io vertoonde op de foto's een geel en rossig gevlekt uiterlijk, vrij van bergen en kraters. Maar het oppervlak is niet glad en rustig, inte-

De activiteit van Io lijkt daarom niet een toevallige gebeurtenis tijdens het eerste Voyager-bezoek geweest te zijn, maar is zo goed als zeker ononderbroken.

Europa biedt een wat rustiger aanblik maar is nauwelijks minder boeiend. Hier bestaat het oppervlak uit een vrijwel aaneengesloten laag ijs. Talrijke breuken en barsten lopen kris-kras door het ijs, sommige duizenden kilometers lang. Het geheel ziet er uit als een luchtopname van de (aardse) Noordpool. Tussen het ijs vinden we eilanden van rotsachtig materiaal waarop slechts weinig kraters aangetroffen worden.

Ganymedes is alweer anders. Hier wél kraters, maar toch minder dan verwacht kon worden op basis van het onophoudelijk bombardement van meteorieten en ander puin dat deze maan in de loop van de miljarden jaren heeft moeten doorstaan. We zien vreemde, nooit eerder waargenomen reliëfvormen. Grote donkere gebieden liggen scherp afgelijnd te-



Geheel linksonder: De dubbelplaneet Aarde-maan, gezien vanuit de ruimte. De atmosfeerloze maan maakt een grauwe indruk naast de blauwe aarde.

Linksonder: De maan Charon draait op ongeveer 20 000 km rond Pluto. Doordat Pluto zo ver weg staat, is zij alleen als een uitstulping van de planeet te zien.

Onder: Galileo Galilei was in 1610 de eerste die rond een ander planeet manen ontwaarde, de vier 'Galileïsche' manen van Jupiter.

Geheel onder: Ganymedes vanop 145 000 kilometer. Het vreemde vlechtwerk van rillen en groeven is duidelijk te zien. De breedte van de foto komt overeen met 580 kilometer op het oppervlak. De kleinste zichtbare details zijn ongeveer 3 kilometer groot.



midden van lichter terrein. Gebundelde groeven en rillen lopen over de donkere gebieden. Soms zijn ze verstrengeld, soms overlappen of kruisen ze elkaar als in een ruw vlechtwerk. De hele structuur wijst op bewegingen en plooiingen in een plastische korst.

Callisto, de vierde in het bonte gezelschap, ziet eruit als een slagveld van kraters. Het oppervlak is er verzadigd van: elke nieuwe inslag vernietigt evenveel kraters als er worden bijgemaakt. Er is ook een reusachtig ringvormig bassin op Callisto, een lelijk litteken van een reuzeninslag lang geleden.

Zoveel contrast in wat er vanaf de Aarde als een betrekkelijk homogeen groep uitziet, kwam als een grote verrassing. In het bijzonder de vulkanische activiteit op Io deed de onderzoekers perplex staan. En toch bestonden er voordien reeds aanwijzingen dat er bijzondere dingen gebeuren op deze maan. Het was al eerder waargenomen dat Io gehuld is in een ijle nevel van natrium-, kalium- en zwavelionen, die zich over een groot deel van haar baan rond Jupiter uitstrekt en die zou kunnen wijzen op belangrijke uitwasemingen van deze maan. Ook waren bij infraroodmetingen opflakkingen gevonden, die te maken zouden kunnen hebben met uitbarstingen.





### Een warme maan ver van de Zon

En dan, juist vóór Voyager 1 de ware toedracht zou onthullen, werd alles uitgelegd en het vulkanisme voorspeld door een groepje Amerikaanse onderzoekers! Het was ongetwijfeld één van de merkwaardigste toevallen in de geschiedenis van de wetenschap. Op 2 maart 1979, twee dagen voor Voyager 1 zijn ophefmakende beelden van Io schoot, verscheen in het tijdschrift *Science* een artikel van S.J. Peale, P. Cassen en R.T. Reynolds waarin zij uitlegden dat onder invloed van de andere Jupiter-manen, de afstand van Io tot de planeet zodanig kan variëren dat er belangrijke schommelingen optreden in de getijdewerking van Jupiter op Io. Daarmee wordt bedoeld dat de invloed die Io van de zwaartekracht van Jupiter ondervindt, steeds verandert. Hierdoor wordt deze maan voortdurend 'gekneed'. De getijde-energie wordt door inwendige wrijving omgezet in warmte. Peale en zijn medewerkers

berekenden dat de opgewekte warmte voldoende is om het inwendige van Io vrijwel helemaal te doen smelten. Alleen aan de buitenkant blijft een dunne vaste korst bestaan. Vulkanische erupties kunnen dan heel gemakkelijk optreden.

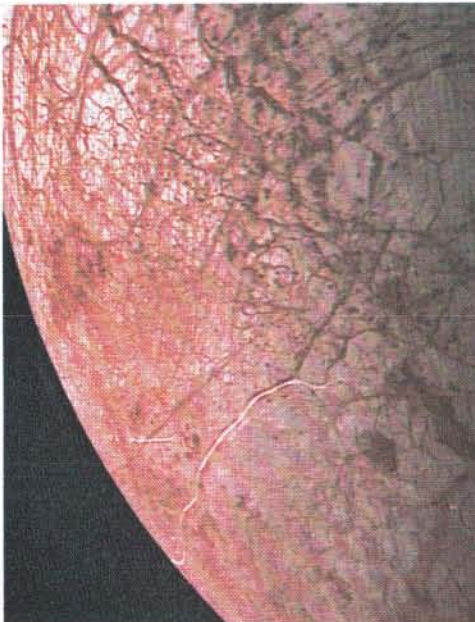
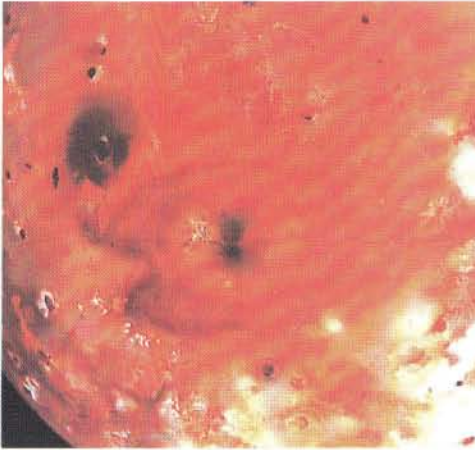
Op de afstand waarop Jupiter en haar manen van de Zon staan is de opwarming door de Zon zo gering dat de temperatuur normaal zeer laag zal zijn. Vluchtige stoffen als water kunnen daarom bewaard blijven in de vorm van ijs, zelfs op kleinere hemellichamen waarvan zij in dampvormige toestand zouden ontsnappen. Vandaar dat de meeste manen van Jupiter en Saturnus voor een groot deel bestaan uit ijs. Dit valt ook af te leiden uit de gemiddelde dichtheid, die wijst op een mengsel van ijs en zwaarder steenachtig materiaal. De dichtheid van Io is met haar  $3,55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  echter vrij hoog, hoger zelfs dan die van de aardse maan waarop geen spoor water te vinden is. Ook dat wijst op een aanzienlijke interne op-



Links: Een Voyager 2-opname van de nachtzijde van Io op een afstand van 1,2 miljoen kilometer. Twee vulkanische uitbarstingen zijn zichtbaar aan de zonverlichte rand van de maan.

Onder: Voyager 1 fotografeerde het landschap op Io hier van een afstand van 377 000 kilometer. De zwarte vlekken zijn haarden van vulkanische activiteit. De wazige hartvormige kring in het midden van de opname is een wolk uitgestoten materiaal van boven bekeken.

Geheel onder: Opname van de met ijs bedekte maan Europa door Voyager 2. Het complexe patroon van strepen wijst op breuken in het ijs.



warming van Io, waardoor al het water smolt, verdampte en uiteindelijk ontsnapte.

Berekeningen wijzen uit dat Europa ook een getijde-opwarming ondergaat, maar door de grotere afstand tot Jupiter werkt het effect in mindere mate. Hierdoor zal het ijs dat aanvankelijk in het inwendige van deze maan aanwezig was, gesmolten en naar het oppervlak gestuwd zijn. Daar moet het voor een groot deel ontsnapt zijn, al bleef een belangrijke hoeveelheid achter in bevroren toestand op het oppervlak (vergelijk de dichtheden van Io en Europa in tabel 2). Vermoed wordt zelfs dat zich onder de ijslaag van Europa een diepe laag vloeibaar water bevindt. Europa zou dan, net als de aarde, een uitgestrekte water-oceaan bezitten!

Ganymedes en vooral Callisto hebben hun primitieve watervoorraad daarentegen grotendeels behouden, zoals blijkt uit de lage dichtheden. Bij Ganymedes is de watermassa nog wel voor een deel naar boven getrokken, maar zij is in de mantel en korst van deze maan blijven zitten. Die verkreeg daardoor een grote vervormbaarheid die ongewoon is voor steenmassa's en waardoor het vreemde reliëf van deze maan ontstond.

## Titan

Toen Voyager 1 in november 1980 langs Saturnus vloog, werd in het drukke wetenschappelijke programma heel wat tijd uitgetrokken voor uitgebreide waarnemingen van de manen. En opnieuw werden verrassende ontdekkingen gedaan. Ook het kroost van Saturnus bleek talrijker en gevarieerder dan verwacht.

Eén van de opmerkelijkste vondsten was de nauwe wisselwerking die bestaat tussen de ringen en enkele kleine maantjes. Eén van de buitenste ringen van Saturnus is de smalle F-ring. Aan beide zijden bleek deze ring afgegrensd te worden door een maantje! Blijkbaar worden de stofdeeltjes van deze ring door de maantjes zelf binnen hun smalle zone gehouden. Als een deeltje afwijkt naar binnen of buiten, komt het in botsing met één van deze *schaapherder-maantjes*. Vermoed wordt dat niet alleen deze maantjes de ring in stand houden, maar dat door samenklontering in de ring ook maantjes worden gevormd. Het ringensysteem van Saturnus zou dan een dynamisch systeem zijn waarin de vorming van nieuwe hemellichamen op dit ogenblik nog steeds aan de gang is.

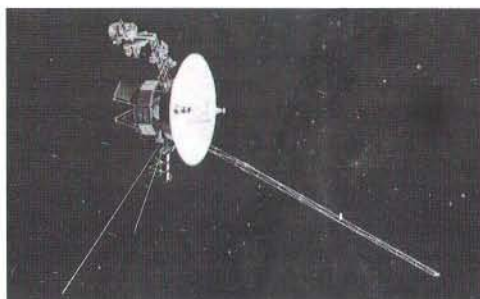


In het bijzonder was de aandacht van Voyager 1 echter gericht op Titan, de op één na grootste maan van het zonnestelsel en de enige waarvan met zekerheid bekend is dat ze in het bezit is van een compacte atmosfeer. De baan van het ruimtevaartuig was zo gekozen, dat op een afstand van slechts 7000 km langs deze maan gevlogen werd. Talrijke televisie-opnamen werden gemaakt met behulp van de krachtige camera's aan boord van het toestel. Infrarood- en ultraviolet-metingen werden verricht voor het bepalen van de temperatuur en de samenstelling van de atmosfeer. Helaas, de foto's vielen tegen. Er was zo goed als niets op te zien. De atmosfeer is volledig bewolkt en belet elk zicht op het oppervlak. Titan is een egaal oranje bol, zonder zichtbare details.

Maar er kwamen wel andere gegevens aan het licht. De atmosfeer van Titan is het toneel van een fascinerende verscheidenheid aan chemische en fysische verschijnselen. Uit de Voyager-metingen bleek zij voor ruim 80 procent uit stikstof ( $N_2$ ) te bestaan, een toestand die lijkt op die op Aarde, waar de lucht voor 78 procent uit dit gas bestaat. Voor het overige bevat de Titan-atmosfeer hoofdzakelijk methaan ( $CH_4$ ), zoals reeds in 1944 door G.P. Kuiper was vastgesteld, en argon (Ar). Vooral het methaan is interessant omdat het aan de basis ligt van de ingewikkelde koolstofchemie, die op Aarde direct betrokken is bij het leven. Er werd inderdaad vastgesteld dat ook op Titan zwaardere koolstofverbindingen voorkomen, zoals ethaan ( $C_2H_6$ ), propaan ( $C_3H_8$ ), acetyleen ( $C_2H_2$ ) en methylacetyleen ( $CH_3CCH$ ). Ook werd waterstofcyanide (HCN) aangetroffen, een produkt dat een belangrijke rol speelt bij de vorming van aminozuren, waaruit eiwitten zijn samengesteld. De wolken op Titan zijn gevormd door aerosolen (kleine zwevende deeltjes) van organische samenstelling.

Dit betekent zeker niet dat op Titan biologische activiteit is vastgesteld. Deze produkten kunnen ook door louter chemische reacties worden gesynthetiseerd. De zwaardere molekulen ontstaan doordat het zonlicht lichtere molekulen dissocieert, waarna de fragmenten met elkaar nieuwe verbindingen vormen. De temperatuur op Titan werd vastgesteld op  $-180^\circ C$  aan het oppervlak, veel te laag voor de complexe chemische processen, die het leven op Aarde doen functioneren.

Onder: Het Voyager-ruimtetuig. De witte schotelvormige antenne verzorgt het radiocontact met de Aarde. Daarachter bevindt zich een beweegbaar platform met de instrumenten voor wetenschappelijke waarnemingen. Voyager 1 werd gelanceerd in september 1977 en Voyager 2 in augustus 1977 (vóór Voyager 1!). Voyager 1 passeerde Jupiter in maart 1979 en Saturnus in november 1980. Voyager 2 passeerde in Jupiter in juli 1979 en Saturnus in augustus 1981. Dit laatste toestel vliegt thans door naar Uranus, waar het aankomt in januari 1986, en naar Neptunus waar de aankomst is voorzien voor augustus 1989.



Wel werd een andere interessante ontdekking gedaan. Nabij het oppervlak van Titan bedraagt de atmosferische druk ongeveer 1,5 bar, anderhalve maal dus die van onze dampkring. Bij deze druk en de heersende temperatuur zal een mengsel van ethaan en methaan condenseren. Men vermoedt daarom dat op het oppervlak grote hoeveelheden vloeibaar ethaan-methaan voorkomen. Waarschijnlijk jaagt de wind de golven voort over de oceanen van Titan en striemt de regen er neer. De regen en de oceanen bestaan echter niet uit water, maar uit een produkt dat we op Aarde eveneens kennen: vloeibaar aardgas!

### Vooruitzichten

De verkenning van de manen van het zonnestelsel is nog maar pas begonnen. Wat de eerste generatie planeetverkenners heeft onthuld, heeft de manen voorgoed uit de anonimiteit gehaald. Niemand beschouwt deze begeleiders van de planeten nog als tweederangs objecten. Het zijn werelden met een volkomen eigen karakter.

Dit jaar lanceren de Amerikanen Galileo die als eerste kunstmaan van Jupiter in een baan om de planeet gebracht zal worden. Op die wijze hoopt men maandenlang de planeet en zijn manen te bestuderen. Ondermeer staan



TABEL 2. Fysische kenmerken van een aantal manen.

		Straal baan [10 <sup>3</sup> km]	Omlooptijd [dag]	Inclinatie [graad]	Straal [km]	Dichtheid [g·cm <sup>-3</sup> ]
Aarde	Maan	384,4	27,32	18,3-28,6	1738	3,34
Mars	Phobos	9,38	0,32	1,02	14x11x9	2,0
	Deimos	23,46	1,26	1,82	8x6x5	1,9
Jupiter	Adrastea	128,0	0,29	0,0	20	
	Amalthea	181,3	0,49	0,4	135x85x75	
	Io	421,6	1,77	0,0	1815	3,55
	Europa	670,9	3,55	0,5	1569	3,04
	Ganymedes	1070	7,15	0,2	2631	1,93
	Callisto	1880	16,69	0,2	2400	1,83
Saturnus	Titan	1221,9	15,95	0,33	2575	1,88
Uranus	Miranda	129,4	1,41	4,22	200?	
Neptunus	Triton	355,3	5,88	169	1750?	
	Nereïde	5510	360,2	27,6	200?	
Pluto	Charon	19,7	6,39	?	600?	

een aantal dichte naderingen langs Io op het programma.

De Sovjet-Unie plant voor 1988 een bezoek aan het Mars-maantje Phobos. De Russen willen een toestel tot op slechts enkele tientallen meters van Phobos laten naderen. Er zal dan een krachtige laserstraal op het Phobosoppervlak worden gericht waardoor het materiaal verdampt en geanalyseerd kan worden. Er zullen twee van dergelijke toestellen gelanceerd worden. Indien het eerste succesvol was, zal het tweede Deimos als doelwit kiezen.

Ook Europa heeft ambitieuze plannen. Het Cassini-project van de European Space Agency (ESA) voorziet in een vlucht van een onbemand toestel naar Titan. Deze satelliet moet een capsule afwerpen die zal afdalen in de atmosfeer en daar onder de wolken beelden maken van het landschap en metingen verrichten

van druk, temperatuur en chemische samenstelling. Als de noodzakelijke fondsen toegekend worden, kan de lancering plaats vinden in 1993 of 1994. De aankomst bij Saturnus gebeurt dan zes tot zeven jaar later. Op tijd misschien om de aanvang van het nieuwe millennium op passende wijze te vieren.

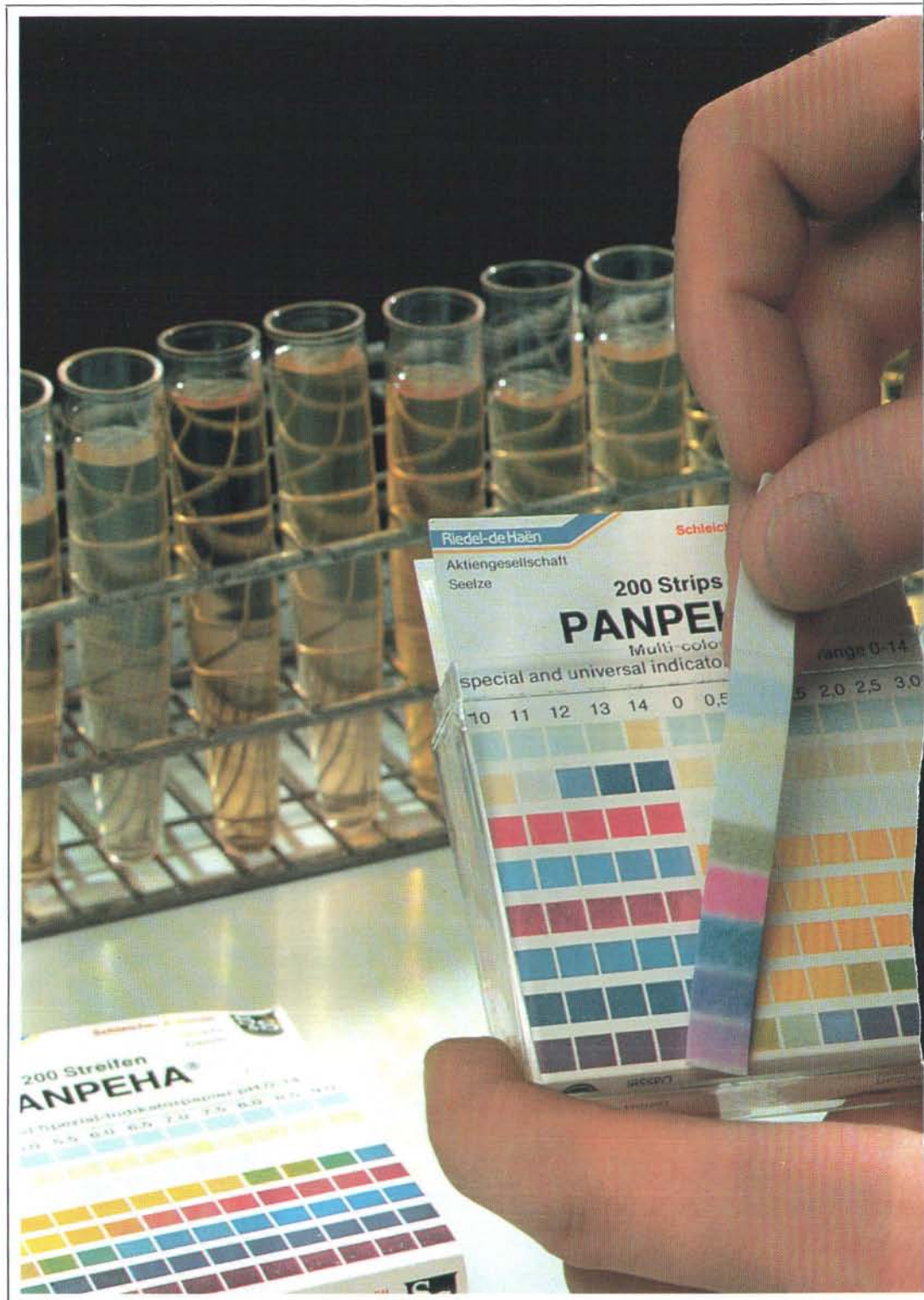
De Voyagers zelf zijn ondertussen alles behalve vergeten. Voyager 2 is op dit ogenblik in de buurt van Uranus en zal de tot nu toe nog vrijwel volslagen onbekende manen van deze planeet in het vizier nemen. Het toestel moet nog deze maand op 29 000 kilometer van Uranus' binnenste maan *Miranda* passeren. Spectaculaire beelden mogen verwacht worden. In augustus 1989 arriveert hetzelfde toestel bij Neptunus en zal er langs Triton scheren. Het meest verrassende zou zijn, als geen verdere verrassingen uit de bus kwamen.

#### Literatuur

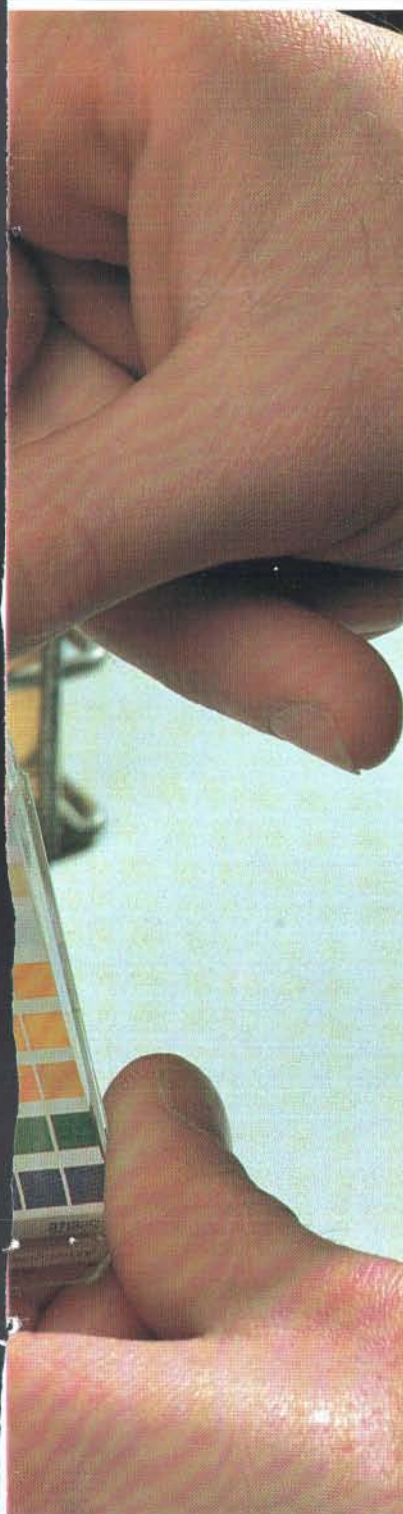
- Morrison, D. (ed.), (1982). *Satellites of Jupiter*. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.  
 Pater, I. de, (1982). *Jupiter - De reus van het zonnestelsel*. Natuur en Techniek 50, 6, pag. 438-453.  
 Brown, R.H., Cruikshank, D.P., (1985). *The moons of Uranus, Neptune and Pluto*. Scientific American, juli, pag. 28-37.  
 Johnson, T.V., Soderblom, L.A., (1983). *Io*. Scientific American, december, pag. 60-71.

#### Bronvermelding illustraties

- US. Naval Observatory, Flagstaff, Arizona: pag. 24 rechts.  
 Deutsches Museum, München: pag. 25 (boven).  
 Alle overige foto's zijn afkomstig van het Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Californië.







# DE CHEMIE VAN DE TESTSTROOK

**J.J. Heeren**  
*Dr. Struyckeninstituut  
Etten-Leur*

## Indopen, afstrijken, aflezen

In het begin van de jaren veertig vonden Compton en Treneer een nieuwe methode om snel en eenvoudig glucose in urine aan te tonen. Hun tablettest was de eerste dry-chemistrytest in de klinische chemie. In de loop der jaren kwamen er meer, ook voor andere verbindingen. Aanvankelijk nog als tablettest, later vooral in de vorm van een teststrook. Het lag voor de hand dat ook gezocht werd naar methoden om met de droogchemietechnologie de concentratie van metabolieten in bloed, serum of plasma te bepalen. Vooral in de afgelopen tien jaar heeft er een snelle ontwikkeling op dit gebied plaatsgevonden, met name na de invoering van de reflectometrische aflezing. Momenteel kan een groot aantal verschillende bestanddelen van bloed op kwantitatieve wijze met deze nieuwe methode worden bepaald.

Ook voor de bepaling van de concentratie van geneesmiddelen in bloed biedt de dry-chemistry-technologie goede mogelijkheden.

Door de opkomst van de dry-chemistrytechnologie wordt de bepaling van steeds meer stoffen in bloed en urine een kwestie van indopen, afstrijken en aflezen.

Het is nog niet zo lang geleden dat de aanblik van een klinisch chemisch laboratorium – toen toch al niet meer dan een bescheiden optrekje in vergelijking met de laboratorium-zalen van nu – voornamelijk bepaald werd door flessen met reagentia, buretten, reageerbuisrekjes, bunsenbranders en hier en daar een enkele fotometer. Het was nog volop de tijd van de natte chemie. Zowel bij het kwalitatieve als bij het kwantitatieve onderzoek van lichaamsvloeistoffen werd gebruik gemaakt van allerlei, soms zeer samengestelde, oplossingen. De bepalingen waren in het algemeen bewerkelijk en tijdrovend en vergden vaak gevaarlijke chemicaliën. Zij leenden zich zeker niet voor uitvoering door onervaren personen.

Met name bij diegenen die betrokken waren bij de opsporing en beheersing van diabetes mellitus was er behoefte aan een eenvoudige, snelle en betrouwbare methode voor de bepaling van glucose. Sinds de ontdekking van insuline in 1921, waardoor voor het eerst een effectieve behandeling van suikerziekte mogelijk werd, was het duidelijk hoe belangrijk het onderzoek naar de aanwezigheid van glucose in urine was. Ook groeide de overtuiging dat diabetes daarbij een belangrijke rol kunnen hebben, als hen geleerd werd zelf hun glucosegehalte in de urine te bepalen. De test welke in die jaren het meest daarvoor in aanmerking kwam was die volgens Benedict, een modificatie van de nog veel oudere Fehling-test. De Benedict-test, hoewel eenvoudig uitvoerbaar in een laboratorium, leent zich echter niet voor uitvoering door onervaren diabetes.

## De eerste dry-chemistrymethoden

Inspelend op deze behoefte aan een snelle, betrouwbare test op glucose in urine die ook door diabetes op eenvoudige wijze kon worden uitgevoerd, ontwikkelden de Amerikanen Compton en Treneer in het begin van de jaren veertig een tablettest die nog geheel op de methode van Benedict was gebaseerd. Van de vaste stoffen natriumhydroxide, citroenzuur, natriumcarbonaat en koper(II)sulfaat persten zij een tablet. Gevoegd bij een paar milliliter urine in een reageerbuis vindt een chemische reactie plaats als glucose in het urinemonster aanwezig is. Afhankelijk van de hoeveelheid glucose ontstaat een blauwgroene, groene, groengele, geelrode of rode verkleuring.

Kenmerkend voor deze nieuwe methoden is dat er geen oplossingen voor nodig zijn: de in droge vorm toegevoegde reagentia worden in het waterige milieu van het monster in oplossing gebracht, waarna de reactie start.

De test van Compton en Treneer, die onder de naam Clinitest op de markt kwam, werd niet alleen in laboratoria gebruikt maar ook al spoedig toegepast door diabetes bij het zelf-onderzoek. Het bleef niet bij die ene test. Nog in diezelfde jaren veertig werd een tweede tablettest ontwikkeld, gericht op het aantonen van ketonlichamen in urine. De tablet (uitgegaan werd van de ook al veel langer bekende reactie van Legal) bevatte glycine, natriumfosfaat en nitroprussietnatrium (dinatriumpentacyanonitrosylferrate) en veroorzaakt bij een positieve reactie een paarse kleur.

## De Benedict-test

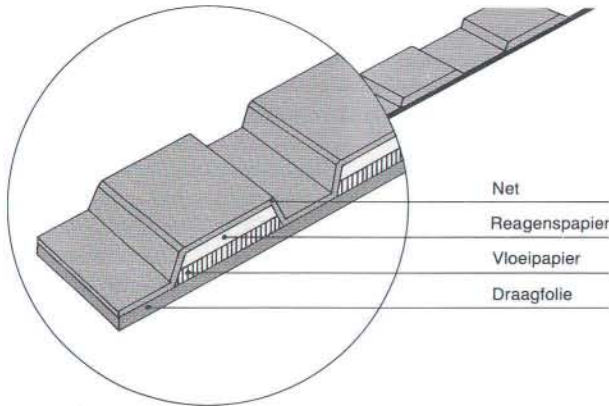
Rond 1850 ontwikkelde Fehling een methode om suikers in urine aan te tonen; een bewerkelijke test met vele bezwaren. In 1906 introduceerde Benedict een modificatie die een aantal van de nadelen van de Fehling-test wegnam.

Het Benedict-reagens werd als volgt bereid: 173 gram natriumcitraat·2H<sub>2</sub>O en 173 gram natriumcarbonaat·10H<sub>2</sub>O worden in kleine porties opgelost in 600 ml gedestilleerd water. Het ge-

heel wordt gefiltreerd waarna een oplossing van 17,3 gram kopersulfaat·H<sub>2</sub>O in 100 ml gedestilleerd water wordt toegevoegd. Aangevuld tot 1000 ml is dit Benedict-reagens maandenlang houdbaar.

Bij de glucosetest volgens Benedict wordt 5 ml van het reagens in een reageerbuis gebracht; vijf druppels urine en een stukje puimsteen worden toegevoegd. De reageerbuis wordt vijf minuten in een kokend waterbad geplaatst of twee minuten boven een bunsenbrander gekookt. De resultaten zijn samengevat in de tabel.





Links: Fig. 1. In principe is de opbouw van een teststrook vrij eenvoudig: op een drager bevindt zich een laag vloeipapier om de te testen vloeistof op te zuigen, dan een laagje papier dat het reagens bevat en tenslotte een doorlaatbare laag die het geheel afsluit.

### Dip-and-read stroken

Met het beschikbaar komen van deze twee tablettesten was er voor het eerst de mogelijkheid om ook onervaren personen op eenvoudige wijze (hun) urine te laten onderzoeken. Het gebruik ervan nam dan ook al snel toe en werd nog verder bevorderd door de introductie van de *dip-and-read* stroken. Op een kunststof drager werden de verschillende chemicaliën van de vroegere tablettest als een strook aangebracht (zie fig. 1). Met deze teststroken was het onderzoek van urine door onder andere diabeten nog gemakkelijker geworden. De handelingen waren teruggebracht tot: indopen, afstrijken en aflezen. Het aanbrengen van een kleurschaal maakte bovendien een semi-kwantitatieve aflezing mogelijk.

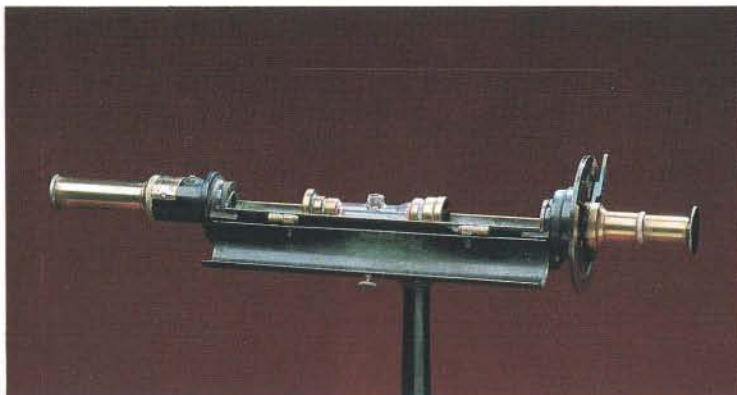
Ook de chemie van de dry-chemistrymethoden werd verbeterd. Met de Benedict-test, en dus ook met de eerste tablettesten, werden nog andere verbindingen dan alleen glucose meebepaald. De invoering van meer specifieke methoden maakte het mogelijk om alleen glucose aan te tonen. Zo betekende de invoering van de glucoseoxidase/peroxidasemethode een stap vooruit.

In de jaren zestig en zeventig vond een verdergaande ontwikkeling plaats. Er werden methoden ontwikkeld voor het aantonen van eiwit, nitriet, bilirubine en andere verbindingen in urine. Er kwamen teststroken op de markt met meerdere testzones zodat verschillende verbindingen tegelijk konden worden aangetoond. Daarnaast werden teststroken ontwikkeld die voorzien waren van twee kleurzones. Hierdoor werd het mogelijk om de concentratie van bijvoorbeeld glucose over een groot gebied en meer verfijnd te bepalen. Het menselijk oog werd daarbij soms vervangen door een eenvoudig apparaat. In de loop der jaren werd het onderzoek van urine met behulp van teststroken zo het hulpmiddel bij uitstek voor het opsporen en bewaken van diabetes mellitus, leveraandoeningen, urineweginfecties, etc.

### Dry-chemistry en bloedanalyse

Het lag voor de hand dat de snelle, eenvoudige uitvoerbare dry-chemistrytechniek ook zou worden gebruikt om, tenminste globaal, de concentratie van bestanddelen van *bloed* te bepalen. Daarbij werd de bepaling van glucose in bloed als eerste aangepakt. De aanwezigheid

TABEL Beoordeling van het resultaat van de Benedict-test.	
Inhoud buis	Suiker [procent]
Helder en blauw	0
Blauwgroene troebeling	0,1
Groene troebeling	0,3 - 0,5
Groengele troebeling	1
Geelrode troebeling	2
Rode troebeling	3
Rood neerslag	>3



Omdat een suikeroplossing de polarisatierichting van licht verandert, werden suikerbepalingen vroeger uitgevoerd met een polarimeter. Daarmee kon de verandering in de polarisatierichting gemeten worden. Het monster bevond zich in de buis, er viel licht door en de analist bepaalde de hoek waarmee het vlak van het gepolariseerd licht werd verdraaid, door een polarisator rond te draaien. Deze hoek is een maat voor het glucosegehalte.

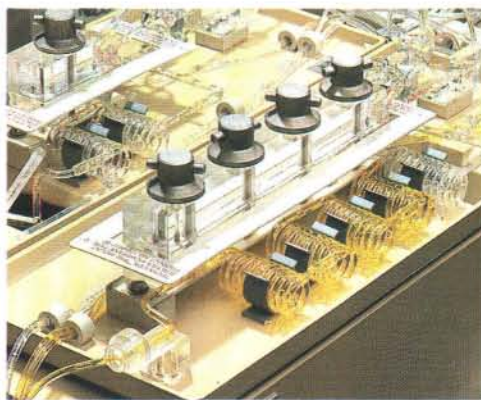
van glucose in urine is weliswaar van grote betekenis voor het opsporen en de bewaking van diabetes mellitus; voor de diagnostiek en het instellen van de patient (het precies bepalen van de benodigde hoeveelheid insuline) is kennis van de concentratie van glucose in bloed, serum of plasma van veel meer belang.

Van geen bepaling zijn dan ook in de loop der jaren zoveel verschillende methoden ontwikkeld als voor die van glucose. Bekend zijn de methoden van Hagedorn-Jensen, Folin-Wu, Somogyi-Nelson; de phenylhydrazine- en ortho-toluidine-methode. Merendeels zijn het bewerkelijke en tijdrovende bepalingen; sommige ervan zijn nog steeds in gebruik.

In 1964 verscheen de eerste teststrook voor de bepaling van glucose in bloed op de Amerikaanse markt. De methode was gebaseerd op de glucoseoxidase/peroxidase-reactie. Het volstond hierbij een druppel bloed uit vingertop, hiel of oorlel, op de testzone te brengen en deze na precies een minuut weer weg te wassen. De in het bloed aanwezige glucose diffundeert door een semi-permeabel membraan dat de testzone bedekt en reageert nu met de in de testzone aanwezige chemicaliën. De kleurverandering kan visueel, dan wel met een reflectometer worden afgelezen.

Bij de ontwikkeling van dry-chemistrymethoden met 'totaal bloed' als monstermateriaal moesten overigens een aantal barrières worden genomen die vooral te maken hebben met het feit dat bloed in vele opzichten van urine verschilt. Bij het kwalitatief onderzoek van urine gaat het om het aantonen van verbindingen die normaal niet of in een zeer lage con-

centratie aanwezig zijn. De methode dient niet alleen specifiek, maar ook voldoende gevoelig te zijn. Bij het onderzoek van bloed gaat het er daarentegen om een indruk te krijgen van de concentratie van verbindingen die ook normaliter voorkomen. Een al dan niet sterk verhoogde of verlaagde concentratie kan belangrijke informatie geven over een mogelijk aan-



Boven: Deze apparatuur wordt gebruikt voor de 'natte' bepaling van kreatinine. Dit is een van de stoffen waarvoor de afgelopen jaren ook teststroken ontwikkeld zijn.

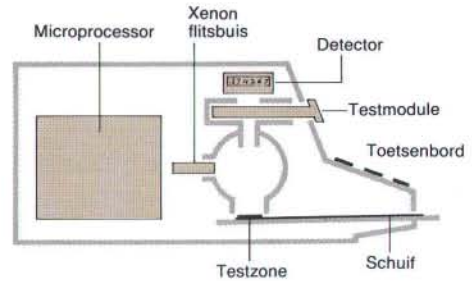
Rechts: Steeds meer diabetici zijn in staat om met behulp van een teststrook zelf het glucosegehalte van het bloed te bepalen. In het begin is daarbij begeleiding nodig, om tot een juiste interpretatie van het resultaat te komen.



wezig ziekteproces. Het probleem bij gebruik van bloed is nu de soms vrij hoge concentratie van de te bepalen stof en het feit dat het concentratiegebied vaak zo breed is. Speciale voorzieningen zijn dan nodig om te voorkomen dat de kleurintensiteit zo groot wordt, dat de bepaling aan precisie inboet.

Uiteraard vormt ook de aanwezigheid van bloedcellen een probleem. Soms wordt dit ondervangen door serum als monstermateriaal te gebruiken. De cellen worden dan vooraf verwijderd. Soms worden de teststroken zo ingericht, dat de cellen achterblijven en de chemische reacties in plasma plaatsvinden.

De hier genoemde problemen kunnen voor een deel ondervangen worden door het monster te verdunnen, dan wel door de bloedcellen vooraf te verwijderen. Dat is jammer, omdat de dry-chemistrymethoden hun betekenis juist ontleen aan het feit dat onverdund en ook anderszins onvoorbewerkt monstermateriaal kan worden gebruikt. Dat neemt niet weg dat bij de kwantitatieve bepaling van de concentratie van metabolieten in bloed vooralsnog vooral van serum wordt uitgegaan.



Boven: Fig. 2. Dit schema toont de werking van een Ames Seralyser. Het monster bevindt zich op een schuif die het apparaat ingeschoven wordt. In het midden zien we de Ulbrichtse kogel. Voor elke te bepalen stof wordt een aparte testmodule gebruikt.

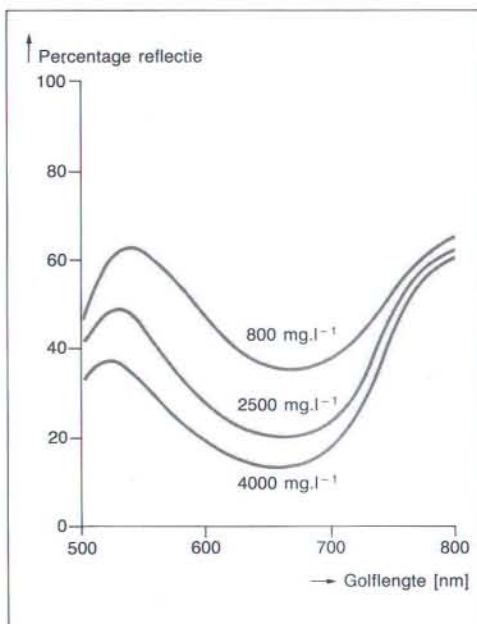
### De Ames Seralyser

Dat is bijvoorbeeld het geval bij de Seralyser, een reflectie-fotometer die sinds het einde van de jaren zeventig op de markt is en met behulp waarvan inmiddels de concentratie van een groot aantal metabolieten in serum kan worden bepaald.



De bediening is uiterst eenvoudig. Een teststrook – bijvoorbeeld die voor de bepaling van cholesterol – wordt op de monstertafel gelegd (zie fig. 2 en I-2). Het monster wordt opgebracht (30 microliter is genoeg) en in het instrument geschoven. De reacties vinden plaats en de strook wordt na een zekere tijd afgelezen. Daartoe wordt de testzone in een Ulbrichtse kogel (zie intermezzo II) met een xenon flitsbuis belicht. Het door de testzone gereflecteerde licht passeert een filter en wordt opgevangen door de monsterdetector. Het in de bol gereflecteerde licht wordt door een referentiedetector opgevangen. Voor elke methode bestaat er een testmodule waarin het voor die

Rechts: Fig. 3. In deze figuur is het percentage reflectie van verschillende glucose-oplossingen uitgezet tegen de golflengte van licht. De reflectie is groter naarmate de concentratie kleiner is. Bij 642 nm is het verschil het grootst; daarom wordt bij die golflengte gemeten.



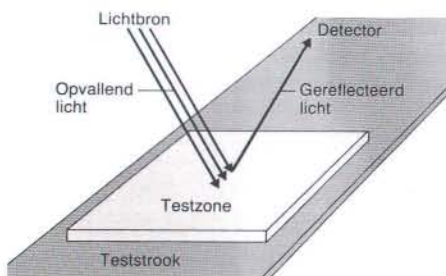
## Reflectometrie

Het vermogen van vaste stoffen om licht te reflecteren kan gebruikt worden om deze stoffen te karakteriseren. Oorspronkelijk werd hiervan gebruik gemaakt bij het bepalen van de witheid van dekkende lakken die als pigment zink- of loodwit bevatten. De reflectie van licht door het monster wordt dan vergeleken met de reflectie van een standaardlaag. Ook bij gekleurd monstermateriaal kan men langs reflectometrische weg inzicht krijgen in de kleurintensiteit van de laag en daarmee in de concentratie van de kleur-bepalende component.

Een voorwaarde bij dergelijke reflectometrische metingen is dat het oppervlak van de laag ideaal-diffuus reflecteert; dit wordt in de praktijk in het algemeen bereikt door het monster op te nemen in een zogenaamde 'Ulbrichtse kogel', een bol die aan de binnenzijde is voorzien van een diffuus reflecterende witte laag van bv. MgO, TiO<sub>2</sub> of BaSO<sub>4</sub>. Hierbij valt het licht niet direct op het monster maar via een diffuse reflectie op de wand van de bol. Hoe meer licht door de testzone wordt gereflecteerd, des te lager zal

de concentratie van een stof zijn; naarmate de concentratie toeneemt zal de reflectie geringer zijn. IJking vindt plaats met behulp van zgn. referentiemonsters, waarvan de reflectie vooraf bekend is. De reflectie is niet evenredig met de concentratie. Het verband tussen beide grootheden is vastgelegd in vergelijkingen van Kubelka en Munk (1931) en Williams en Clapper (1953).

De moderne reflectometers zijn microproces-sorgestuurd en in staat om de op de onderzijde van de teststrook vastgelegde informatie omtrent reactie- en meetomstandigheden af te lezen en vast te leggen.





methode te gebruiken filter is opgenomen. In een microprocessor zijn gegevens opgeslagen met betrekking tot temperatuur, reactietijd, rekenformules, etc. Het apparaat kan op een eenvoudige wijze worden geijkt (zie fig. 3).

Een aanzienlijk aantal klinisch-chemische bepalingen kan op de Seralyzer worden uitgevoerd. De concentratie van verbindingen als ureum, kreatinine, cholesterol, glucose en bilirubine kan worden bepaald, maar ook de activiteit van enzymen. Er zijn ook teststroken beschikbaar voor het bepalen van de concentratie van geneesmiddelen (theophylline). Het aantal bepalingen zal in de komende jaren nog zeker worden uitgebreid.

De chemie van deze bepalingen is overigens niet spectaculair veranderd en is in het algemeen gelijk aan die welke ook in de natte chemie in gebruik is. Dat neemt niet weg dat veel onderzoek moest worden verricht naar betere kleurmethoden, de invloed van korrelgrootte in de teststroken, etc.

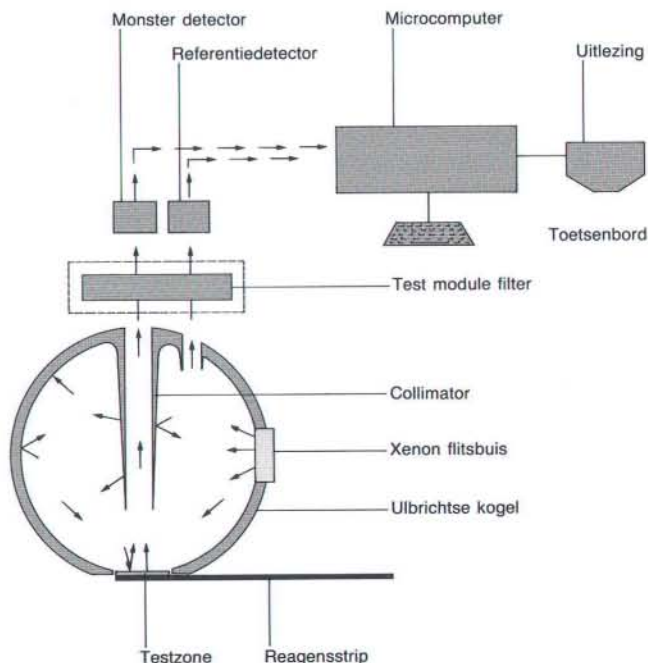
### Multilayer-film elementen

In 1978 werd tijdens het 10th International Congress of Clinical Chemistry in Mexico-City door medewerkers van Eastman Kodak, voor de buitenwacht tot dan vooral bekend als fotogigant, een nieuwe vorm van dry chemistry gepresenteerd, welke ook in vakkringen nogal wat opschudding veroorzaakte. Het staat zo nuchter in de abstracts van het congres: 'Kodak technology includes the capability of coating thin layers in multi-layer configuration uniformly and reproducibly and of carrying out a variety of chemical transformations within these layers. This technology (...) has been employed to produce a colorimetric clinical assay system. This system, requiring 10 microliter of fluid per test, is essentially dry to the touch once the fluid has been spotted'.

Dat de fotografische industrie met een dry-chemistrytest voor klinisch chemische laboratoria op de proppen komt is overigens aller-

Linksonder: Fig. I-1. Het principe van de reflectometrie. De hoeveelheid teruggekaatst licht is afhankelijk van de concentratie van de te bepalen stof.

Rechts: Fig. I-2. Het optische systeem van de Seralyser. De xenon flitsbuis dient als lichtbron. Alleen het licht dat via de collimator teruggekaatst wordt telt mee. Dit gaat door de testmodule, een filter dat alleen het licht van de te gebruiken golflengte doorlaat, en valt op een detector. De intensiteit wordt in een microcomputer vergeleken met een referentiedetector, die de intensiteit van het xenonlicht rechtstreeks meet.



minst vreemd te noemen. Met name bij de ontwikkeling van de kleurenfotografie heeft men veel kennis verkregen en ervaring opgedaan met chemische processen die in een groot aantal dunne, van elkaar gescheiden lagen verlopen.

Het Eastman Kodak-systeem – waarbij onverdund serum als monster wordt gebruikt – komt op het volgende neer. Een transparante kunststof ondergrond wordt met een of meer lagen gecoat, die de verschillende reagentia voor de betreffende bepaling bevatten. Soms worden de reagenslagen door een semi-permiabel membraan gescheiden. Het geheel wordt bedekt met een toplaag. Met behulp van een speciale pipet wordt een kleine hoeveelheid serum op deze toplaag gebracht. Het monster verspreidt zich snel en gelijkmatig over deze toplaag en diffundeert in de onderliggende lagen. Hier vinden de verschillende reacties plaats. Tenslotte ontstaat een gekleurd product dat langs reflectometrische weg wordt gemeten (zie fig. 4).

Inmiddels zijn ruim 20 bepalingen ontwikkeld waaronder enige voor de bepaling van de concentratie van elektrolyten, waarbij gebruik gemaakt wordt van ionselectieve elektroden. Met het Eastman Kodak-systeem zijn (tot op heden nog in de Verenigde Staten; het systeem werd afgelopen najaar in Nederland geïntroduceerd) blijkbaar zeer bevredigende resultaten verkregen. Een volledig geautomatiseerde versie van het instrument kan ca. 500 monsters per uur verwerken.

### Het Boehringer Reflotron-systeem

Het is duidelijk dat de voordelen van dry chemistry het meest tot hun recht komen als ook het monstermateriaal direct en onverdund kan worden gebruikt. Gebruik van serum is om die reden minder gewenst: het kost tijd en er is bovendien een centrifuge voor nodig. Daardoor werd het noodzakelijk een dry-chemistrysysteem te ontwikkelen met de mogelijkheid om de bloedcellen van de bloedvloeistof te scheiden.

Een dergelijke scheiding is gerealiseerd bij het Reflotronsysteem van de firma Boehringer dat in de loop van dit jaar zal worden geïntroduceerd. Men kan hier zeer wel spreken van een nieuwe generatie teststroken. De opzet is te zien in figuur 5. Een druppel bloed (30  $\mu$ l)

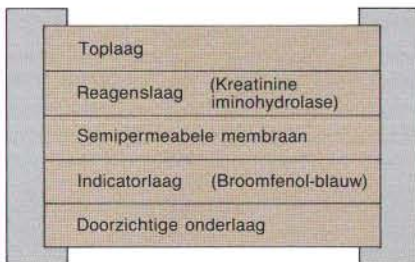
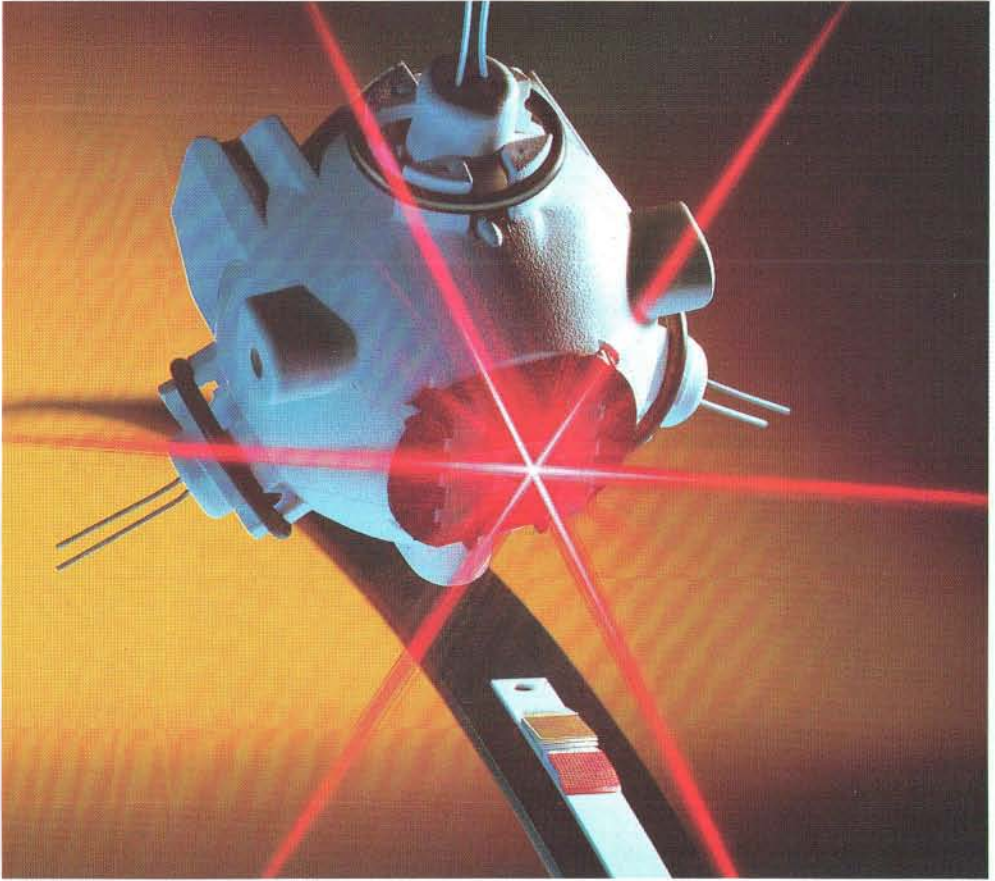
Rechts: De meetkop van een Reflotron is voor deze foto uit het apparaat genomen.

Onder: In steeds meer klinisch-chemische laboratoria staat afleesapparatuur om de verkleuring van teststroken nog exacter te meten dan het menselijk oog dat kan. Andere grootheden die bepaald worden, zoals de reflectie kunnen al helemaal niet nauwkeurig met het oog waargenomen, zodat de inzet van apparatuur hierbij onvermijdelijk is.



wordt gebracht op het rechter gedeelte van de uit twee delen bestaande testzone van de teststrook. Een scheidingsmembraan op glasvezelbasis zorgt ervoor dat de bloedcellen achterblijven: het plasma wordt doorgelaten en komt, nadat eventuele storende stoffen zijn weggenomen, in een plasmareservoir dat zich ook onder het tweede gedeelte van de testzone uitstrekt. Op een tijdstip dat vooraf instelbaar is, klapt het boven het plasmareservoir aanwezige linkerdeel van de teststrook naar beneden waardoor de verschillende reagentialagen met het plasma in contact komen. Het plasma diffundeert in deze lagen, de te bepalen bloedcomponent komt met de verschillende reagentia in contact en uiteindelijk ontstaat het gekleurde eindproduct dat weer reflectometrisch wordt afgelezen na incubatie bij 37°. De onderzijde van de teststrook is voorzien van een





Boven: Fig. 4. De schematische opbouw van een multi-layerfilm van Kodak vertoont in principe eenzelfde opbouw als de teststrook in figuur 1. Deze film wordt gebruikt bij de bepaling van kreatinine.

magneetband met gegevens omtrent de bepaling: de duur van de reactiefase, de te gebruiken golflengte, de berekeningswijze, etcetera.

Een tiental bepalingen is inmiddels beschikbaar; ook de activiteit van enige enzymen kan op deze wijze worden bepaald. Dit aantal zal de komende jaren zeker nog worden uitgebreid.

#### Toekomstige ontwikkelingen

In het voorgaande is de ontwikkeling geschetst van een dry-chemistrytechnologie voor het onderzoek van urine en bloed in klinisch chemische laboratoria. Begonnen met een eenvoudige tablettest voor het aantonen van glucose in urine, heeft deze ontwikkeling ertoe geleid dat momenteel de concentratie van een groot aantal componenten van urine en bloed

kwantitatief kan worden bepaald. Het betreft dan zowel metabolieten (ureum, kreatinine, glucose, urinezuur etc.), als elektrolyten ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) en enzymen. Ook is het mogelijk gebleken de concentratie van geneesmiddelen (theophylline) in bloed (serum) op deze wijze te bepalen. Veel van deze bepalingen zijn inmiddels in de handel; andere verkeren in een laatste fase van ontwikkeling.

Er is niet veel voor nodig om in te zien dat deze ontwikkelingen verregaande verschuivingen binnen het geheel van de gezondheidszorg met zich kunnen brengen. De glucose-teststrook heeft de klinische chemie bij de patiënt, vooral de diabeticus, thuis gebracht en zijn bezoek aan arts en laboratorium sterk gereduceerd. Het is niet te verwachten dat iets dergelijks ook op die schaal zal gebeuren bij andere aandoeningen.

De opzet van dry-chemistrymethoden brengt wel met zich mee dat ze niet meer, zoals in de natte chemie geldt, noodzakelijkerwijze in een laboratorium behoeven te worden uitgevoerd. De eenvoud van apparatuur en uitvoering, de snelheid waarmee het analyse-resultaat wordt verkregen, het feit dat aan het bedienend personeel geen bijzondere eisen hoeven worden gesteld, zullen een plaatsing op patiëntenafdelingen van ziekenhuizen bevorderen. Maar ook buiten ziekenhuis of verpleeghuis zal de plaatsing van dry-chemistryapparatuur mogelijk en gerechtvaardigd zijn, bij-



Boven: Een Boehringer Reflotron. De verschillende buisjes aan de linkerkant van het apparaat bevatten stroken voor afzonderlijke bepalingen.

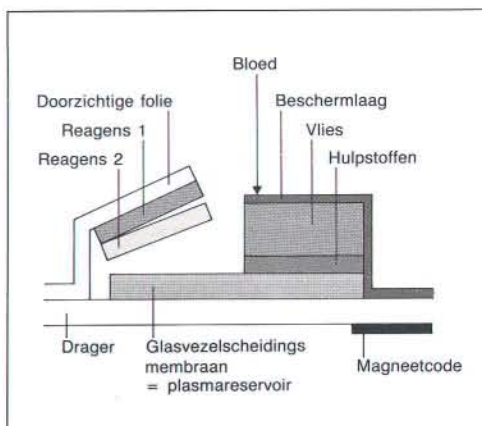
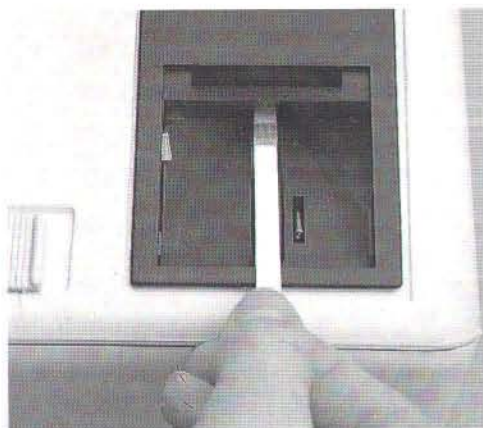
Rechtsboven: Een teststrook wordt, na in het te onderzoeken monster gedoopt te zijn, in de Reflotron geschoven. De meting kan beginnen nadat enige tijd is geïncubeerd om de reactie op gang te brengen.

Geheel rechtsboven: Fig. 5. De teststrook van een Reflotron bestaat uit twee delen. De werking wordt uitgebreid beschreven op pag. 38.

Onder, van links naar rechts: Het systeem van Kodak is zeer eenvoudig te bedienen. Eerst wordt een filmpje met de reagentia voor een bepaalde stof (hier glucose (Glu)) in het apparaat geschoven. Met een zeer nauwkeurige pipet worden vervolgens enkele microliters van het monster opgebracht.







voorbeeld in de spreekkamer van de huisarts. In Amerika verwacht men op korte termijn een grote toename in *in office testing*. Voor een ontwikkeling in die richting zal een aantal veranderingen in de organisatie van de gezondheidszorg moeten plaatsvinden. Ook moeten afspraken worden gemaakt die duidelijkheid geven over de vraag wie de verantwoordelijkheid draagt voor het meetresultaat.

Het kostenbesef dat bij de overheid en ook binnen de gezondheidszorg bestaat, zal daarbij geen belemmering vormen; ook prijstechnisch zijn deze ontwikkelingen op zijn minst interessant te noemen. Dit aspect heeft een duidelijke

rol gespeeld bij de ontwikkeling van de droogchemie; bij betrekkelijk kleine series kan men al concurrerend werken.

Een voordeel van een verdergaande verspreiding van de dry-chemistrytechnologie is zeker ook dat meer standaardisatie en normalisatie mogelijk wordt. De mogelijkheden ten aanzien van de kwaliteitscontrole worden vergroot, zij het dat daarvoor een grotere en soepel verlopende organisatie nodig zal zijn. Een nadeel is zeker dat de gebruiker meer afhankelijk is van de producent en het zicht verliest op de kwaliteit van de gebruikte reagentia, methode, etc.



#### Literatuur

- Ballegoie, E. van, (1983). *Nieuwe behandelingsmethoden voor suikerziekte*. *Natuur en Techniek* 51, pag. 758-777.  
 Free, A.H., Free, H.M., (1984). *Self testing, an emerging component of clinical chemistry*. *Clinical Chemistry* 30, 6, pag. 829-838.  
 Curme, H.G. et al., (1978). *Multilayer film elements for Clinical Analysis: general concepts*. *Clinical Chemistry* 24, 8, pag. 1335-1342.

#### Bronvermelding illustraties

- Fotopersbureau Paul Mellaart BV, Maastricht: pag. 30-31, 34, 35, 38.  
 Bayer Nederland, Mijdrecht: pag. 37.  
 Boehringer Mannheim, Almere: pag. 39, 40 (boven), 41 (boven).  
 Kodak Nederland, Driebergen: pag. 40 (onder), 41 (onder).

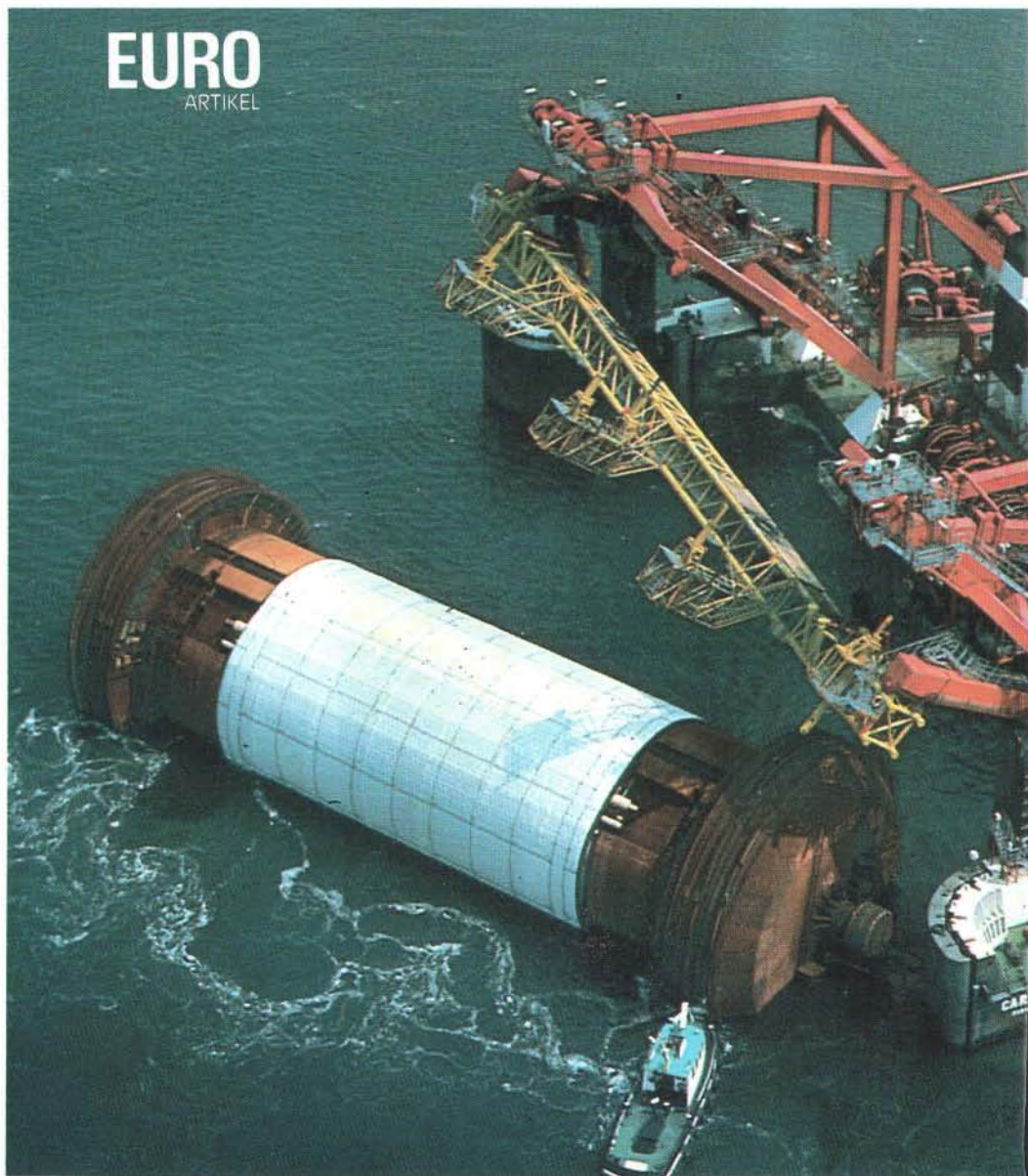
**H.A.M. Nelissen**

*Laboratorium voor Grondmechanica  
Delft*

Om verzakking van de pijlers van de stormvloedkering in de Oosterschelde te voorkomen werd op de bodem een filtermat gelegd. Deze werd in een fabriek gemaakt, op een grote rol gewonden en door de 'Cardium' op de juiste plaats neergelegd. Op de foto zien we hoe een nieuwe rol door sleepboten naar de 'Cardium' gebracht wordt.

In 1974 is besloten in de monding van de Oosterschelde een pijlerdam te bouwen die alleen bij hoge stormvloed zal worden gesloten. Het plaatsen van de pijlers direct op de zandige zeebodem wordt vaak als een riskante zaak beschouwd. Veel bodems, ook die van de Oosterschelde zijn te zwak

**EURO**  
ARTIKEL





# BOUWEN OP DRIJFZAND

om een dergelijke constructie te dragen. De eigen ervaring van een dagje strandbezoek kan dat gevoel nog versterken. In dit artikel wordt uiteengezet waarom de pijlerdam niet in drijfzand hoeft weg te zakken, maar als een stabiele constructie op de zeebodem kan blijven staan.

## De fundering van de Oosterscheldedam



In 1974 is het Deltaplan, dat na de watersnoodramp van 1953 was opgesteld, voor wat betreft de afsluiting van de Oosterschelde bijgesteld. Vanwege de grote ecologische waarde van het Oosterschelde-bekken werd voorgenomen in deze zeearm geen dichte, maar een doorlaatbare dam te bouwen, die alleen bij hoge stormvloed en op de Noordzee zal sluiten.

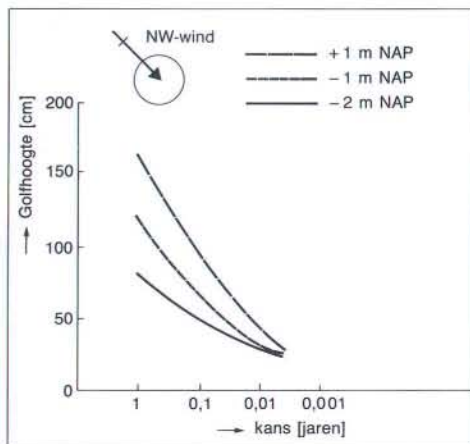
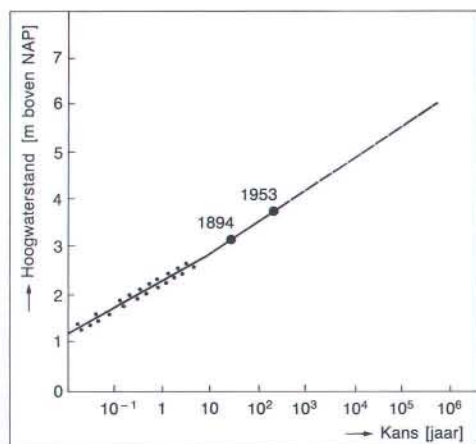
Na een studieperiode van twee jaar was men van mening dat de bouw van een stormvloedkering binnen de door de regering en het parlement gestelde randvoorwaarden van tijd, kosten en technische haalbaarheid, zou kunnen worden gerealiseerd. De technische haalbaarheid van een stormvloedkering is inmiddels in de praktijk aangetoond: momenteel is men bezig met de afbouw ervan. De kering zal echter niet, zoals was gesteld, in 1985, maar eerst in oktober 1986 operationeel zijn, tegen belangrijk hogere kosten dan was voorzien.

Het ontwerp van de stormvloedkering heeft zich ontwikkeld tot wat uiteindelijk de pijlerdam is geworden: een afsluitbare kering bestaande uit een aantal betonnen pijlers met daartussen stalen schuiven en betonnen aanslagbalken. Het gewicht van de pijlerdam en de krachten die er door het water op worden uitgeoefend, moeten uiteindelijk door de grond onder de constructie worden opgenomen, zonder dat de stabiliteit van de dam in gevaar komt. Daarom is de zandige ondergrond van de drie stroomgeulen Hammen, Schaar en Roompot, een belangrijk onderdeel van de stormvloedkering.

## De omstandigheden in de Oosterschelde

Het milieu in de Oosterschelde kan in stand worden gehouden door na de bouw van de kering het oorspronkelijke getijverschil zoveel mogelijk te handhaven. Het water stroomt voor het grootste deel door de drie geulen met een totaal doorstroomprofiel van ca. 80 000 m<sup>2</sup>. Voorafgaande aan de bouw is een studie verricht naar de invloed van een reductie van de doorstroomopening op het getijverschil. Het bleek dat een reductie van 80 000 m<sup>2</sup> tot 15 000 m<sup>2</sup> het getijverschil te Yerseke van 3,50 tot 2,80 m terugbrengt. Dit wordt voldoende geacht om het unieke Oosterscheldemilieu in stand te houden. De vernauwing van het doorstroomprofiel wordt deels veroorzaakt door de pijlers, deels door de dorpelbalken en de stenen drempel die ter weerszijden van de dam worden aangelegd.

Het ontwerp van waterkeringen wordt normaliter gebaseerd op een maatgevende hoogwaterstand en een daarbij optredende golfhoogte. Voor het vaststellen van deze ontwerpwaarden wordt gebruik gemaakt van waarnemingen, die over een reeks van jaren worden verzameld. Van de opgetreden waterstanden en golfhoogten wordt vastgesteld hoe vaak ze worden bereikt of overschreden. Dit levert voor Zuidwest-Nederland de diagrammen op die zijn weergegeven in figuur 1 en 2. Uit de eerste figuur blijkt dat een waterhoogte als in de rampnacht van 1953 ongeveer eens in de 400 jaar voorkomt.







Links: Het besluit een stormvloedkering in de Oosterschelde-mond aan te leggen, in plaats van een dam, werd genomen nadat milieubeschermers op de enorme consequenties van een dam voor het Oosterschelde-milieu gewezen hadden.

Onder: Zonder fundering zou het de pijlers van de Oosterschelddam vergaan als de voeten van iemand die stilstaat op het strand.



Geheel links: Fig. 1. De overschrijdingsfrequentie van de hoogwaterstand geeft aan hoe vaak een bepaalde waterstand wordt overschreden. Als de frequentie op een logaritmische schaal wordt uitgezet, blijken de waarnemingen op een rechte lijn te liggen. Deze lijn kan worden doorgetrokken tot buiten het waarnemingsgebied om de frequentie van nog nimmer opgetreden hoogwaterstanden te voorspellen.

Links: Fig. 2. De overschrijdingsfrequentie van de golfhoogte geeft aan hoe vaak een bepaalde gemiddelde golfhoogte wordt overschreden.

Bij het ontwerp van de pijlerdam zijn voor de waterstand en de golfhoogte die waarden gebruikt, waarvan wordt verwacht dat ze slechts eens in de 4000 jaar worden bereikt. Elk onderdeel van de stormvloedkering is vervolgens ontworpen, rekening houdend met de krachten die het gevolg zijn van de ontwerp-waterstanden en golfhoogten.

### De bouw

Het ligt voor de hand te onderzoeken of de pijlers in de stroomgeulen kunnen worden gebouwd in een bouwkuip die tijdelijk wordt drooggezet. Deze methode, waarbij voor elke pijler één bouwkuip nodig is, is om twee rede-



Boven: Voordat de filtermatten konden worden uitgerold, werd eerst de grond eronder verdicht. Dit gebeurde door een resonator aan een lange buis in de grond te steken. De buis werd door een motor in trilling gebracht.

Rechts: Deze werkzaamheden werden uitgevoerd vanaf het verdichtingsponton 'Mytilus', een schip dat eruit ziet als een flatgebouw. In feite is het een groot rek voor het vasthouden en verplaatsen van vier trillichamen.

nen voor de Oosterschelde niet geschikt. Tijdens de bouw zal het grote aantal bouwkuipen een te sterke reductie van het getij veroorzaken en bovendien is de voortgang van de werkzaamheden te zeer afhankelijk van de weersomstandigheden.

Dit heeft ertoe geleid dat is gekozen voor een bouwwijze waarbij zoveel mogelijk elementen van de dam worden geprefabriceerd buiten de stormgevoelige stroomgeulen. De pijlers werden gebouwd in de bouwdokken van het werkeiland Neeltje Jans, de balken op het werkterrein bij de haven van Kats op Noord-Beveland en de schuiven in fabriekshallen. De geprefabriceerde onderdelen zijn vervolgens naar hun lokatie in de stroomgeulen getransporteerd en geassembleerd.





### De krachten op de fundering van de pijlers

De pijlers van de stormvloedkering zijn constructies, die direct op de zeebodem worden geplaatst. Hun stabiliteit tegen stroom en golfkrachten ontleent ze aan hun eigen gewicht en aan de omringende drempel.

In geval van een verwachte hoge waterstand op de Noordzee zullen de schuiven worden gesloten. De waterstand op de Oosterschelde wordt zodoende op een constant peil gehouden, terwijl de waterstand op de Noordzee stijgt. Er ontstaat daardoor een waterstandsverschil over de kering dat een horizontale kracht op de pijlerdam uitoefent. Deze kracht moet door de constructie en de ondergrond worden weerstaan (zie fig. 3).

De golfkrachten op de gesloten schuiven variëren met de golfhoogte. Bovendien is bij een golftop de horizontale kracht groter dan bij een golfdal. De golven oefenen aldus een in de tijd variërende belasting uit op de schuiven en de pijlers.

### Statische krachten

Het waterstandsverschil en het eigen gewicht van de pijlerdam worden als horizontale en verticale krachten op de ondergrond overgebracht. De grond moet onder deze belasting stabiel zijn en niet af- of wegschuiven.

Een willekeurige bodem ontleent zijn stabiliteit aan de inwendige wrijving tussen de korrels waaruit hij is opgebouwd. De wrijvings-



Boven: Een van de resonators aan boord van de 'Mytilus' is zojuist omhoog gehaald. Duidelijk zichtbaar zijn de vinnen.

weerstand die kan worden opgebracht is ondermeer afhankelijk van de spanningstoestand in de grond (de contactdruk tussen de korrels) en het poriegehalte. Het poriegehalte wordt gedefinieerd als het volumepercentage holle ruimte tussen de korrels ten opzichte van het totale volume: hoe minder holle ruimten, hoe lager het poriegehalte. In figuur 4 is het verband weergegeven tussen de wrijvingsweerstand en de verticale spanning als functie van het poriegehalte: bij een zekere verticale spanning heeft de bodem een hogere wrijvingsweerstand naarmate het poriegehalte lager is.

De stabiliteit van een grondmassief kan worden onderzocht door een afschuifvlak aan te nemen en het krachten- en momentenevenwicht te onderzoeken van een grondmoot. In de praktijk wordt doorgaans uitgegaan van cirkelvormige glijvlakken en wordt het momentenevenwicht bepaald ten opzichte van het middelpunt van de glijcirkel. De grondmoot wordt schematisch in lamellen opgedeeld. Het gewicht ervan is de kracht; de horizontale afstand van het zwaartepunt van een lamel tot het middelpunt van de cirkel is de arm (zie fig. 5). Indien de som van de momenten ten gevolge van de aandrijvende krachten kleiner is dan de som van de weerstandbiedende momenten (waaronder de wrijving langs het glijvlak), dan is het grondmassief in evenwicht. Het weerstandbiedende moment ten gevolge van de wrijvingsweerstand langs het glijvlak is afhankelijk van het poriegehalte: hoe lager het poriegehalte hoe groter de wrijvingsweerstand

Rechts: Fig. 3. Deze figuur laat zien hoe de hydrostatische waterdrukken werken tegen de gestreken schuif bij een golfop en een golfdal.

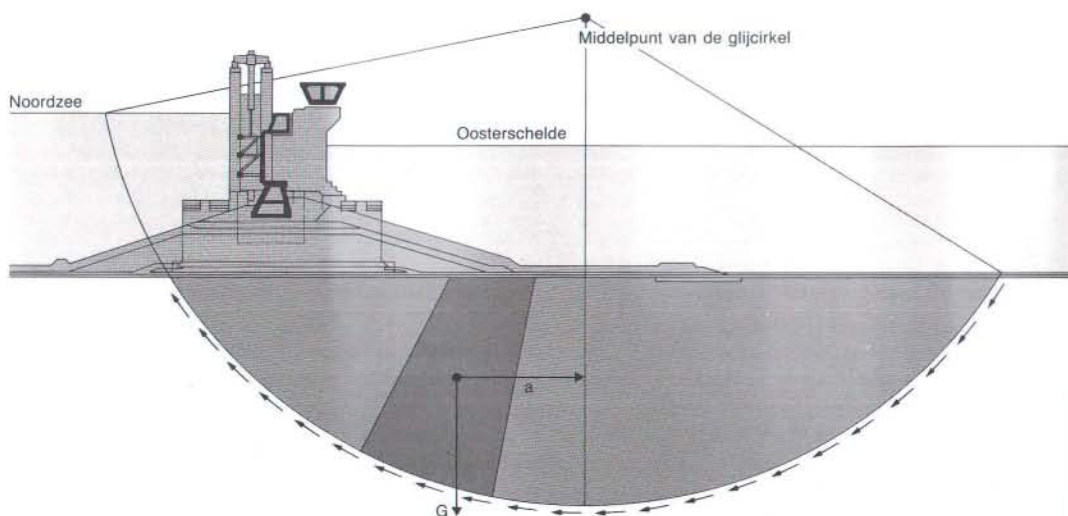
Geheel rechts: Fig. 4. De wrijvingsweerstand van de grond is ondermeer afhankelijk van het poriegehalte ( $n_1$  of  $n_2$ ). Hoe kleiner het porievolume, des te groter het contactoppervlak tussen de zandkorrels, des te groter ook de kracht die nodig is om de wrijvingsweerstand tussen de korrels te overwinnen.

Onder: Fig. 5. De stabiliteit van een grondmassief kan worden onderzocht door een glijvlak te veronderstellen en het evenwicht van impulsmomenten en krachten te onderzoeken. De grondmoot wordt daartoe in lamellen (donker) verdeeld. Het erop rustende gewicht  $G$  is de kracht, de afstand  $a$  is de arm; vermenigvuldiging van beide levert het impulsmoment.

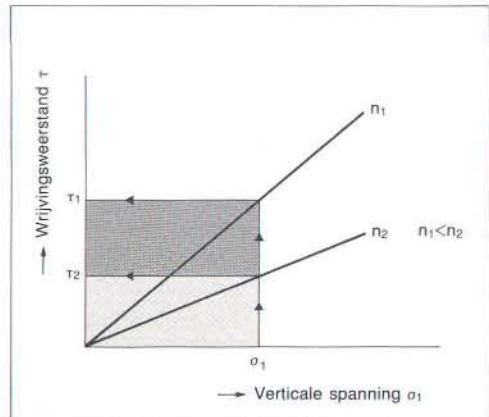
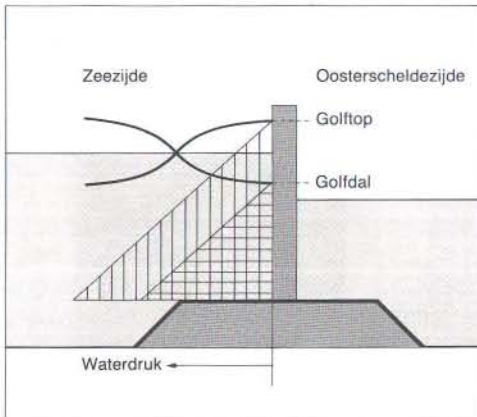
die langs het glijvlak kan worden gemobiliseerd. De bepaling van de wrijvingsweerstand van de grond is dus een belangrijk onderdeel van het ontwerpproces.

### Dynamische krachten

Dergelijke berekeningen van de stabiliteit van de ondergrond worden gemaakt voor statische belastingen. Daarnaast zijn er ook de dynamische krachten, veroorzaakt door het slaan van de golven op de schuiven en de pijlers. Deze met de golfslag variërende belasting veroorzaakt een periodiek indrukken en terugveren van de grond; hierbij is het mogelijk dat de grond bij elke golfslag enigszins inklinkt en







het poriegehalte afneemt. Het water tussen de korrels komt daardoor onder druk te staan. Als het water niet snel genoeg door de poriën kan afstromen, zal bij elke volgende golfklop de druk in het water steeds verder toenemen. Daardoor zal tegelijkertijd de contactdruk tussen de korrels afnemen. Uiteindelijk kan dit leiden tot een situatie waarbij de contactdruk tussen de korrels en dus de interne wrijvingsweerstand nagenoeg nul wordt. De grond is drijfzand geworden en heeft geen draagvermogen meer. De grond en de erop staande constructie bezwijken.

Om de stabiliteit van de grond onder variërende belastingen te verzekeren moet dus worden voorkomen dat de grond steeds verder in kan klinken. Dit kan als het poriegehalte van het begin af aan voldoende laag is. De wrijvingsweerstand tussen de korrels wordt dan bij het inveren van de grond onder de variërende golfbelastingen niet overschreden. Voor het verwerken van zowel dynamische als statische belastingen is het dus van belang dat het poriegehalte van de (zand)grond laag is. Er kan dan voldoende interne wrijvingsweerstand worden gemobiliseerd.

### Waterstroming door de grond

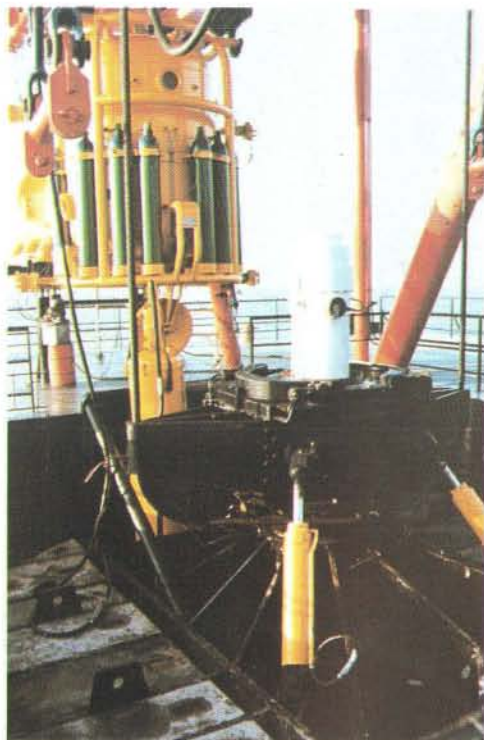
Een belangrijk aspect bij het ontwerpen van de fundering is de waterstroming door de poriën van de grond. Als gevolg van het waterstandsverschil bij gesloten kering, zal er door het verschil in waterdruk een stroming door de grond op gang komen. De sterkte en de rich-

ting van de stroming zijn ondermeer afhankelijk van de grootte van het drukverschil en van het voor het watertransport beschikbare porievolume. Vóór en achter de kering zal de verticale stroming overheersen; eronder de stroming in horizontale richting.

Het drukverschil over de kering heeft twee componenten: een statisch deel, het verschil in de gemiddelde waterstand, en een variabel deel, de invloed van de wisselende waterstand door de golven. Het door de grond stromende water oefent een kracht uit op de gronddeeltjes en zal, als de stroming sterk genoeg is, in staat zijn gronddeeltjes mee te slepen. Aan de uitstroomzijde kan er op deze wijze een steeds verdergaande erosie optreden, waarbij uiteindelijk de constructie kan worden ondermijnd en zelfs kan bezwijken.

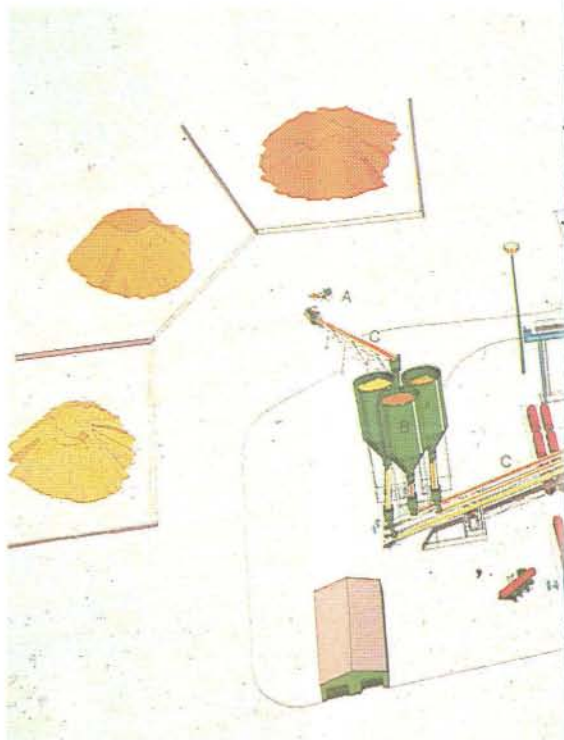
Indien uit proeven en berekeningen zou blijken dat de optredende stromingskrachten groot genoeg zijn om het zand onder de pijlers te transporteren, dient het zand te worden afgedekt met een zwaarder materiaal. De poriën van het afdek materiaal moeten zo klein zijn dat de zandkorrels worden tegengehouden, maar groot genoeg om het water door te laten. In de praktijk betekent dit dat er meestal een aantal lagen steeds grover wordend materiaal nodig is. Op die manier wordt een waterdoorlatende maar niet erodeerbare constructie, een zogenaamd filter verkregen.

Een voorbeeld van een dergelijke constructie is de drempel: enerzijds de zandbodem; aan de andere kant de stenen met een massa van 15 ton en een diameter van ca. 1,5 m. Daartussen



Boven: Deze duikerklok werd ingeschakeld om te onderzoeken of de 'Mytilus' de zeebodem in voldoende mate verdicht had.

Rechtsboven: In dit overzicht van het fabricageproces van de filtermatten is te zien hoe links via drie verschillende transportbanden zand, grind en breuksteen worden aangevoerd. Op een ondergrond (D) wordt eerst een zanddichte membraan aangebracht (E), waarop manden worden geplaatst. Daaroverheen wordt een laag zand verspreid (H), opnieuw een zanddichte laag (I) en manden (J) aangebracht waarna het grind kan worden uitgestort (K). Dit proces wordt nog eens herhaald met breuksteen (L, M, N). Daaroverheen komt een toplaag die goed wordt vastgemaakt (O tot S), waarna de mat op een rol gewonden wordt (T). De lieren (W) brengen de rol aan het rollen en houden haar op haar plaats.



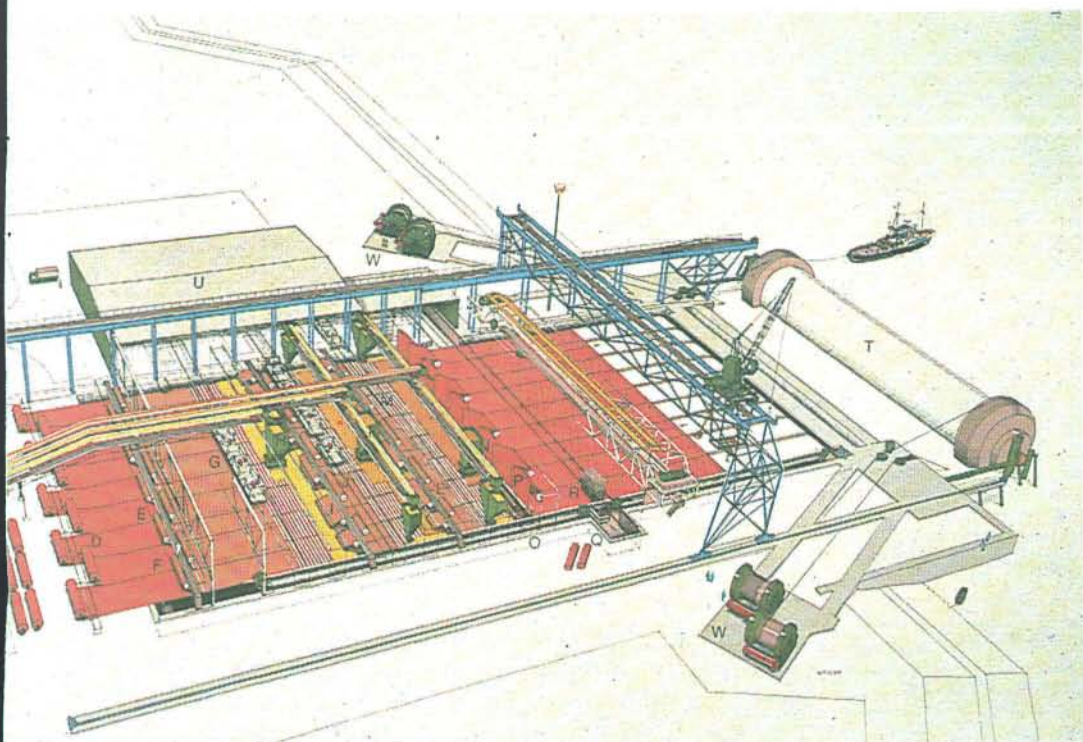
bevinden zich achtereenvolgens zand, grind en breuksteen van diverse afmetingen, afkomstig uit groeven in Finland, Duitsland en België.

### De eisen voor de funderingsgrondslag

Om de op de grond werkende krachten zonder stabiliteitsverlies te kunnen weerstaan, worden er de volgende eisen gesteld:

1. Met het oog op de stabiliteit van de grond moet deze voldoende schuifweerstand hebben. Bovendien mag zij niet inklinken onder de variërende golfbelasting. Aan beide voorwaarden kan worden voldaan als het poriegehalte ten hoogste 39 à 40 procent is.
2. Bij een stabiele situatie is de grond te beschouwen als een min of meer elastisch medium. Dit betekent dat een grondmassief enigszins zal worden samengedrukt als gevolg van de erop werkende krachten. Om ervoor te zorgen dat de schuiven en de balken tussen de pijlers blijven passen, dienen de zettingsverschillen tussen de pijlers binnen zekere grenzen



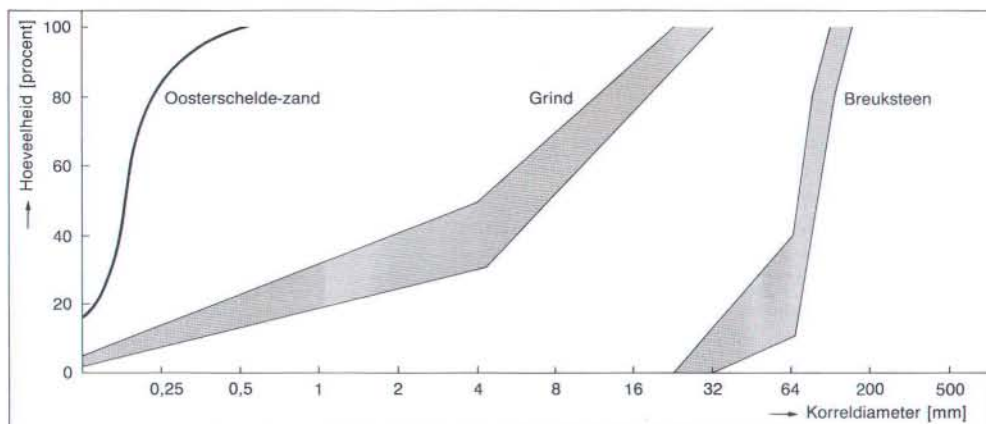


te blijven. Deze zettingsverschillen worden voor een belangrijk deel bepaald door de stijfheid van de grond. Ook de stijfheid kan worden gerelateerd aan het poriegehalte van het zand: hoe lager het poriegehalte, hoe groter de stijfheid. Het vereiste poriegehalte dient lager te zijn dan 40 procent om de zettingen en scheefstand binnen aanvaardbare grenzen te houden. Om de gedachten te bepalen: het maximum poriegehalte bedraagt 45 à 47 procent; de minimumwaarde: 35 à 36 procent.

3. Voor het afdekken van de zandbodem moeten grovere materialen als grind en breuksteen worden gebruikt. De vereiste grofheid van het materiaal kan worden vastgelegd in een zeefkromme. Het materiaal wordt gezeefd waarbij steeds fijnere zeven worden gepasseerd. De hoeveelheid op elke zeef kan worden bepaald en in een diagram worden weergegeven. In figuur 6 is aangegeven welke eisen aan het gebruikte grind en breuksteen gesteld worden. De zeefkrommen van de geleverde materialen moeten binnen de aangegeven grenzen liggen.



Boven: Op deze foto is het fabricageproces zo ver gevorderd dat de machine op de achtergrond klaar is om een laag grind uit te storten.



### De bodem van de stroomgeulen

In de drie stroomgeulen van de monding van de Oosterschelde bestaat de natuurlijke grondslag voornamelijk uit jong holocene zand waarin veel slib- en kleilaagjes voorkomen. De samendrukbaarheid van deze grond is veel te groot en de interne wrijvingsweerstand veel te laag. Dit maakte het uitvoeren van een grondverbetering noodzakelijk. De slechte grondlagen zijn tot een diepte van ca. 10 m beneden de zeebodem verwijderd en vervangen door zand dat elders in de Oosterschelde en op de Noordzee is gewonnen.

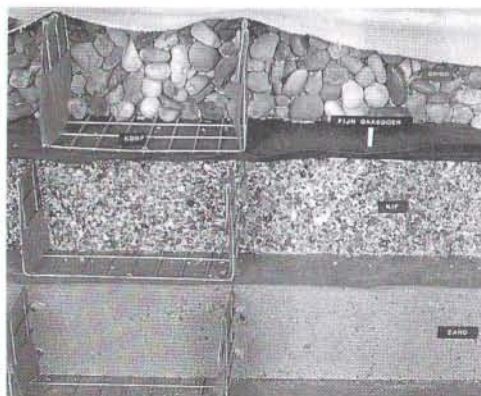
Het op die manier aangebrachte zand voldeed nog niet aan de gestelde eisen: het poriegehalte was te hoog, ca. 42-43 procent en de stijfheid was nog te gering. Daarom was de volgende stap het poriegehalte van het zand kunstmatig te verlagen door het te verdichten.

Dit is uitgevoerd met een in Nederland ontwikkeld systeem waarmee op het land al ruime ervaring was opgedaan. Met dit systeem wordt zand verdicht door het in trilling te brengen. Het bestaat uit een motor die trillingen opwekt; een buis die de trilling doorgeeft en een resonator: een aantal vinnen die onder aan de buis zijn bevestigd. De buis wordt met de resonator in de grond gebracht tot de gewenste diepte. Vervolgens wordt de buis aan het trillen gebracht, waarbij de trillingsenergie door de resonator op de grond wordt overgebracht. De omringende grond wordt tot een afstand van 4 à 5 m rondom de buis verdicht.

De verticale trilling die door de motor wordt

opgewekt heeft een frekwentie van 25 Hz en een amplitude van 6 mm. Het verdichtingssysteem is geïnstalleerd op het ponton 'Mytilus' waarmee op vier lokaties tegelijk kan worden verdicht. De 'Mytilus' heeft in een periode van ca. 3 jaar ongeveer 3 miljoen m<sup>3</sup> zand verdicht: een strook met een totale lengte van 3000 m, een breedte van 80 m en een diepte van 10 tot 15 m. Op deze strook zijn de 65 pijlers van de stormvloedkering geplaatst.

De afname van het poriegehalte is gecontroleerd door metingen. Daarvoor werd gebruik gemaakt van een duikerklok die op de zeebodem is geplaatst. Met behulp van een sonde, die de grond wordt ingedrukt, is het poriegehalte op elke gewenste diepte bepaald. Op elke pijlerlokatie zijn gemiddeld 10 van dergelijke metingen uitgevoerd.





Links: Fig. 6. Deze grafiek laat zien aan welke eisen de zeefkrommen van grind en breuksteen moeten voldoen. Deze moeten binnen de gearceerde gebieden liggen om te voldoen aan de eisen voor de opbouw van een filterconstructie.

Onder: Op deze foto, die feitelijk een dwarsdoorsnede van een filtermat toont, is zeer fraai de opbouw ervan te zien. Vergelijk deze foto met het schema van de fabricage op de vorige pagina's.

Rechts: De 40 meter brede mat bij het oprollen. Op de achtergrond drijft een volle rol.

## Het fundatiebed

De pijlers kunnen niet zonder meer op de op deze wijze verdichte zandbodem worden geplaatst. De aansluiting op de ondergrond stelt speciale eisen. Om te voorkomen dat door een onvolledige aansluiting kanaaltjes ontstaan waardoor toch een erosieproces op gang kan komen, is tussen de pijlerbodem en de zand-ondergrond een filterconstructie nodig. De eisen die aan dit filter worden gesteld zijn zeer hoog: het moet van een goede en homogene kwaliteit zijn en het moet zeer vlak kunnen worden afgewerkt.

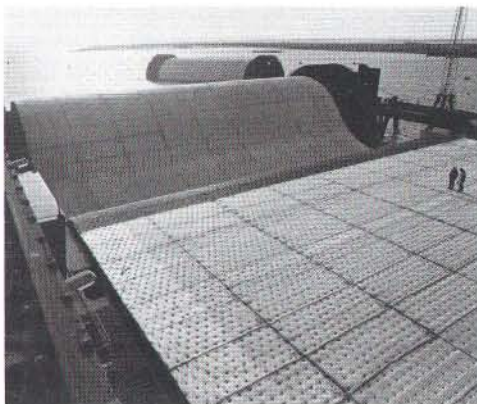
Het is praktisch onmogelijk om filters die aan dergelijke hoge eisen voldoen, bij een waterdiepte van 30 - 40 m vanaf het wateroppervlak aan te brengen. Er is daarom besloten de

filterconstructie aan de wal te fabriceren en met een speciaal gebouwd ponton op de bodem neer te leggen.

Het filter bestaat uit drie lagen van elk 12 cm dik: onder grof zand, in het midden fijn grind en daar bovenop grof grind. Het filter kreeg de vorm van een matras van  $200 \times 42$  m en een dikte van 36 cm. Na de fabricage werd de matras opgerold op een trommel en met een sleepboot naar de mattenlegger 'Cardium' getransporteerd. Tijdens het leggen van de maten is tegelijkertijd de zandbodem nauwkeurig op het juiste niveau afgevlakt. Op deze wijze is een homogene en vlakke filterconstructie verkregen als overgang tussen de verdichte zandbodem en de pijlers.

De matten hebben een breedte van 42 m; de pijlers staan echter hart op hart op een afstand van 45 m. Er blijft dus een strook ter breedte van 3 m open die wordt afgedekt met een aparte filterconstructie.

De fundering van de pijlerdam bestaat zodoende uit verdicht zand met daarop de geprefabriceerde filtermatten. In diverse stadia van de bouw is de kwaliteit van de fundering gecontroleerd. Daarbij is vastgesteld dat zowel het poriegehalte als de interne wrijvingsweerstand van het zand aan de eisen voldoen. Ook de filterconstructies onder en rondom de pijlers zijn gecontroleerd. Ook hiervan is vastgesteld dat ze aan de eisen voldeden. Er mag daarom worden verwacht dat, als het nodig is de stormvloedkering te sluiten, de funderingsgrondslag voldoende sterk zal zijn om de pijlerdam zonder gevaar voor stabiliteitsverlies te dragen.



## Literatuur

- Duusma, E.K., Engel, H., Martens, Th.J.M. (red.), (1982). *De Nederlandse Delta*. Natuur en Techniek, Maastricht. ISBN 90 70157 25x  
Bakker, H., Puyenbroek, R., (1983). *Onderwaterinspectie - Robots onder de zeespiegel*. Natuur en Techniek 51, 4, pag. 272-287.

## Bronvermelding illustraties

- Laboratorium voor Grondmechanica, Delft: pag. 42-43, 45 (rechts), 50.  
René Kleingeld, Yerseke: pag. 45 (links).  
Deltadienst Rijkswaterstaat, Zierikzee: pag. 46, 47, 50-51, 52.  
Wim Riemens, Middelburg: pag. 46-47, 51.  
J. Wolterbeek, Middelburg: pag. 53

## EURO

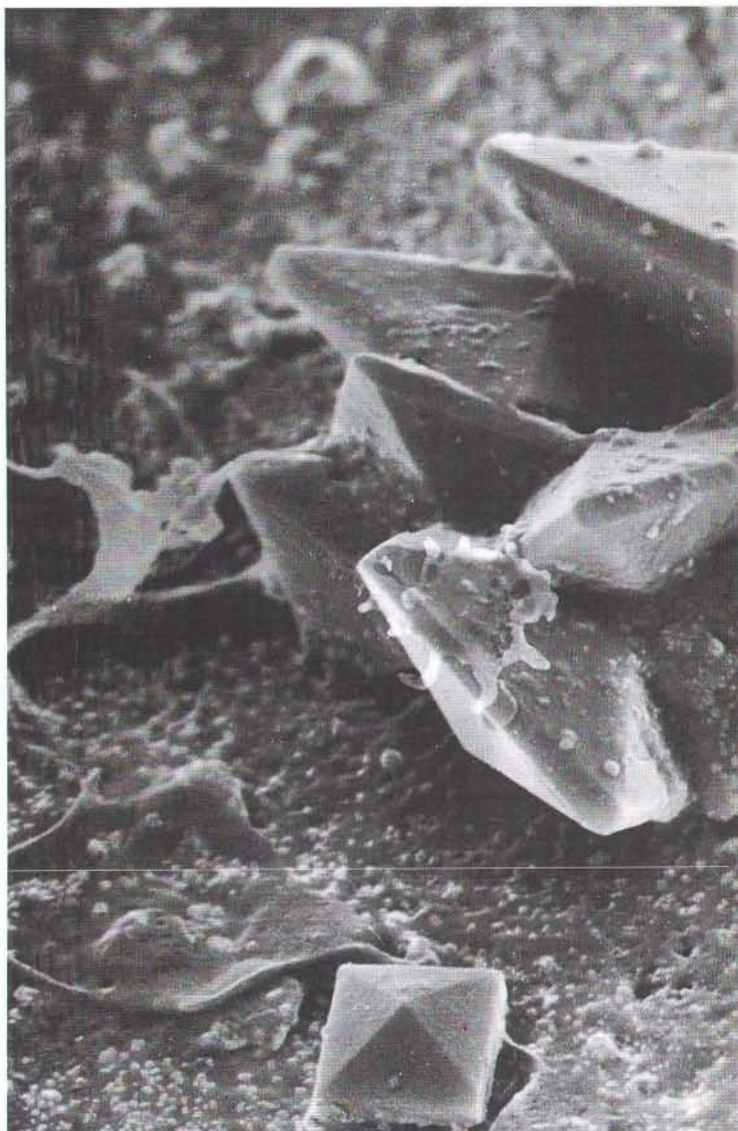
ARTIKEL

**F.C.M. Driessens**  
*Instituut Tandheelkundige  
Materialen  
Katholieke Universiteit  
Nijmegen*

**L.J.M.J. Blomen**  
*Kinetics Technology  
International  
Zoetermeer*

**R.M.H. Verbeeck**  
*Laboratorium voor  
Analytische Scheikunde  
Rijksuniversiteit Gent*

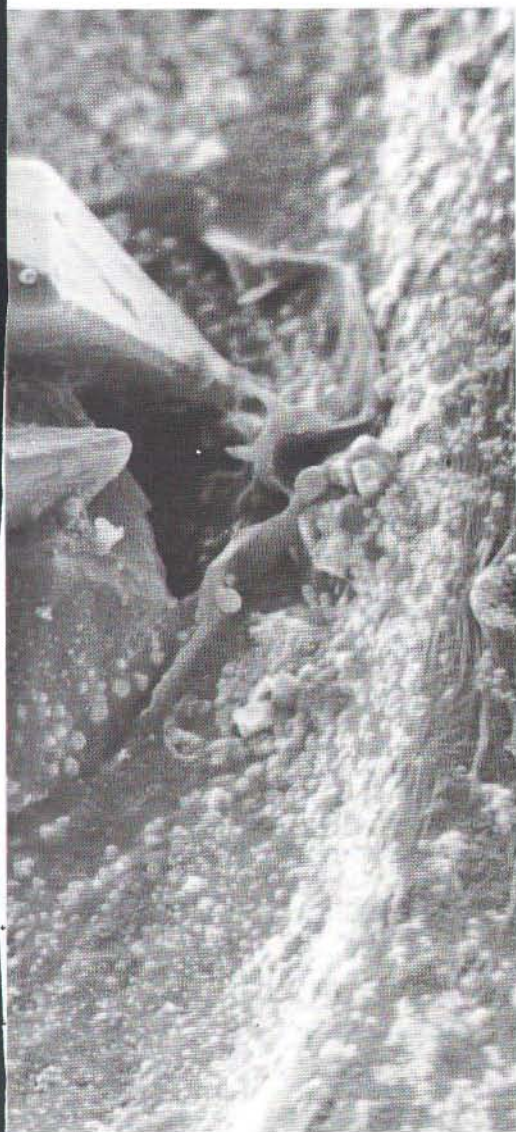
Deze foto van het begin van een urinewegsteen werd gemaakt met een scanning elektronen-microscoop (SEM). Enkele calciumoxalaat-dihydrataat kristallen zijn samengeklonterd en groeien nu samen, door elkaar, verder. Mogelijk kan dit door voldoende magnesium in ons dieet voorkomen worden.





# MAGNESIUM

## IN HART EN NIEREN



Cholesterol en meervoudig onverzadigde vetzuren worden door iedereen in verband gebracht met hart- en vaatziekten. De reclame heeft ons bewust gemaakt van voeding als risicofactor voor deze kwalen. Een risicofactor, die bij de discussie over hart- en vaatziekten meestal vergeten wordt, maar door epidemiologisch onderzoek net zo hard gemaakt is als de overige, is zacht water. We hebben hier eens niet te maken met een teveel aan zware metalen, maar met een, niet direct merkbaar, gebrek aan magnesium in voeding en in (zacht) drinkwater. Dit tekort lijkt ook mede verantwoordelijk voor steenvorming in de urinewegen. Om deze redenen is het van belang, dat er studies gedaan worden naar de lange-termijneffecten van magnesium-toevoeging aan voedsel en drinkwater op de ontwikkeling van hart- en vaatziekten en urinewegstenen. Hiermee kan op relatief eenvoudige wijze zeer algemeen aan hun preventie worden bijgedragen.

De moderne geneeskunde heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de toename van de levensverwachting van de mens. Deze levensverwachting wordt uitgedrukt in het aantal jaren dat iemand uit een bepaalde bevolkingsgroep naar verwachting te leven heeft. De vooruitgang op lange termijn kan bijvoorbeeld getoond worden aan de getallen voor het vrouwelijk deel van de bevolking in Nederland (tabel 1). Dergelijke getallen gelden in ongeveer gelijke mate voor alle ontwikkelde landen.

De levensverwachting, of het aantal jaren dat men gemiddeld nog te leven heeft, hangt af van de leeftijd die men al bereikt heeft. Zo is het waarschijnlijker dat iemand die al 70 geworden is, de 80 haalt, dan dat een willekeurige pasgeborene de 80 haalt. Dit vindt zijn oorzaak in de ongelijke frequentie van sterfgevallen (mortaliteit) in de verschillende leeftijdsgroepen. Deze ongelijkheid komt ook tot uitdrukking in de toenemende vergrijzing van de maatschappij. Deze vergrijzing komt niet alleen tot stand door het afgenomen geboortecijfer, maar ook door het feit dat tegenwoordig meer sterfgevallen op hogere leeftijd plaats hebben dan vroeger.

Rechts: Op plaatsen waar slagaders zich vertakken (zoals hier de aorta van een rat) treden sterke wervelingen in de bloedstroom op. Vooral daar vindt gemakkelijk de vorming van atherosclerotische plaques plaats. De bobbels zijn daar misschien een begin van.

Geheel rechts: Fig. 2. Mortaliteit (frequentie van sterfgevallen) per 100.000 per jaar als functie van de leeftijd in verschillende leeftijdsgroepen. Opsplitsing voor de verschillende doodsoorzaken laat zien dat rond de leeftijd van 30 jaar hart- en vaatziekten vaker fataal worden dan kanker en dat boven de leeftijd van 43 jaar hart- en vaatziekten zelfs de overhand krijgen over alle andere doodsoorzaken samen.

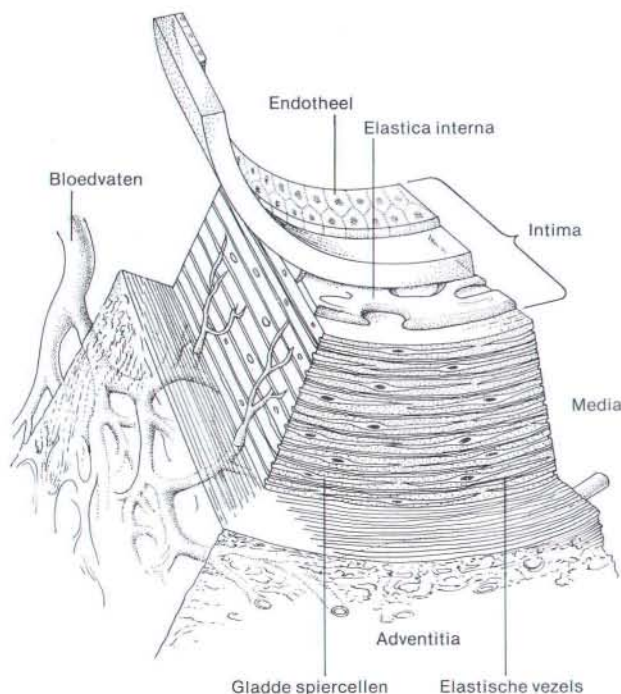
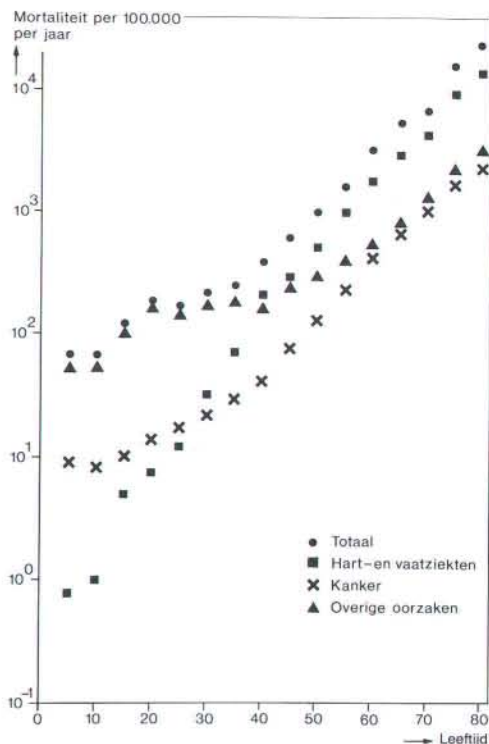


Fig. 1. De wand van een arterie is uit drie lagen opgebouwd nl. van binnen naar buiten, de *intima*, de *media* en de *adventitia*. In de *intima* en de *adventitia* liggen de cellen en vezels in de lengterichting van het vat, terwijl de cellen in de *media* in cirkels om het vat heen liggen. De *intima* regelt de uitwisseling van stoffen tussen het bloed en de vaatwand, de *media* zorgt voor de doorstroming van het bloed en de *adventitia* vormt de verbinding met het omringende weefsel. Atherosclerose verandert de structuur van de *intima*.

TABEL 1. De gemiddelde levensverwachting van vrouwen in Nederland.

Jaar	Levensverwachting (in jaren)
1850	38
1875	46
1905	65
1935	73
1973	80
1978	82
1980	80





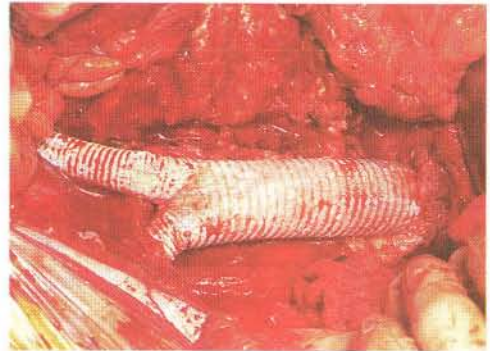
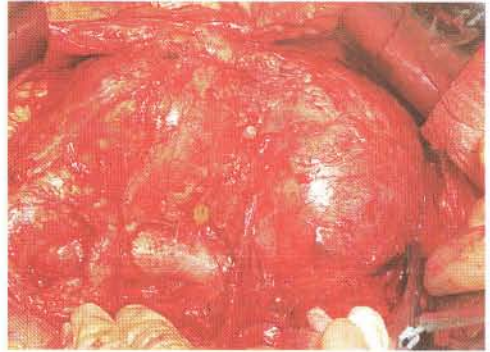
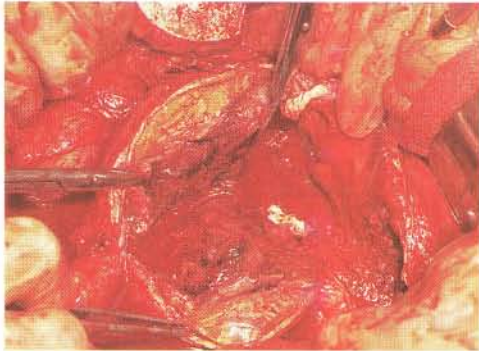
De mortaliteit in de verschillende leeftijds-groepen neemt logaritmisch toe met de leeftijd (zie fig. 2). Dit geldt ook voor de specifieke bijdragen van verschillende doodsoorzaken aan de mortaliteit. Als voorbeeld moge dienen de mortaliteit aan hart- en vaatziekten als functie van de leeftijd zoals gegeven in tabel 2. Uit figuur 2 is af te lezen dat boven de leeftijd van ongeveer 43 jaar, hart- en vaatziekten de meest voorkomende doodsoorzaak zijn. Onder die leeftijd is dat veelal een verkeersongeval of kanker. In totaal overlijdt nu ongeveer de helft van de Nederlanders aan hart- en vaatziekten en ongeveer een kwart aan kanker. In de oosterse landen zoals Japan en China, ligt de verhouding juist omgekeerd. Hoewel verschillen tussen rassen daarbij enige rol kunnen spelen, zijn de verschillen binnen één ras aanzienlijk. De verschillen tussen mannen en vrouwen zijn eveneens betekenisvol. De stijging van de mortaliteit ten gevolge van hart- en vaatziekten, die zich vooral sinds 1920 in de Westerse landen heeft voorgedaan, heeft de daling ten gevolge van de invoering van anti-

biotica praktisch geheel teniet gedaan. Hierom is men naarstig gaan speuren naar de oorzaak of oorzaken van hart- en vaatziekten. Men spreekt in plaats van oorzaken liever over *risico-factoren*. De aard en het verloop van hart- en vaatziekten geven daarbij enig houvast.

#### Aard en verloop van hart- en vaatziekten

Met hart- en vaatziekten bedoelen wij hier atherosclerose. Dit is een steeds verder gaande ziekelijke verandering in de structuur en het functioneren van de binnenste laag (intima) van de arteriën. In de loop daarvan wordt ook de middelste laag (media) van deze bloedvaten vaak aangetast. Het begint met scheurtjes in de intima waarin zich lipiden (vetachtige stoffen) en cholesterol ophopen. Vaak groeien deze weefselbeschadigingen (*lesies*) uit tot zogenaamde *plaques* waardoor de opening (lumen) van de arterie plaatselijk kleiner wordt. Soms wordt de concentratie van cholesterol zo hoog dat zich plaatselijk kristallen daarvan gaan vormen. Dit noemt men *geërodeerde lesies*.

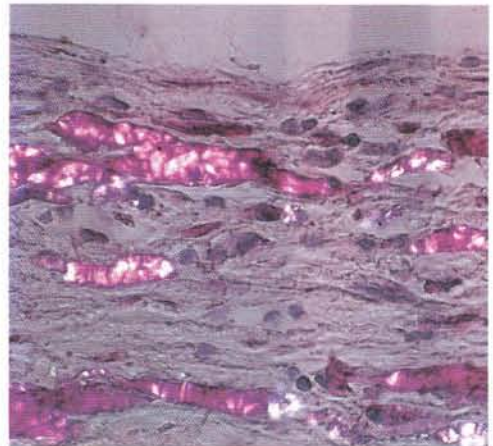
Deze buikslagader is door atherosclerose zo sterk aange-  
tast, dat hij met stolsel gevuld en sterk opgezwollen is.  
Preventieve maatregelen hadden dat misschien kunnen  
voorkomen, maar nu is openknippen en vervangen door  
een prothese de enige oplossing.



Ten gevolge hiervan kunnen zich plaatselijk  
bloedstolsels ophopen en kan er aderverstop-  
ping (trombose of infarct) optreden. Tegelijk  
echter kunnen ook de lipiden en het choleste-  
rol verdwijnen en plaats maken voor ofwel  
nieuw bindweefsel, ofwel calciumfosfaat-zou-  
ten. Het eventuele nieuwe bindweefsel kan po-  
sitief worden geïnterpreteerd als een poging tot  
herstel van de gezonde situatie, zij het dat de  
soepelheid van de arterie daarbij sterk achter-  
uit gaat. Aderverkalking echter met de ge-  
noemde calciumfosfaat-zouten maakt de situa-  
tie nog erger dan ze was. De arterie heeft nu al-  
le soepelheid verloren en is bros geworden. Ie-  
dere extra spanning die erop komt te staan kan  
tot breuk leiden. Dit uit zich vooral bij hersen-  
bloedingen.

Onderzoek bij soldaten die in Vietnam sneu-  
velden en bij verkeersslachtoffers heeft aange-  
toond dat beginnende lesies in de aorta van  
meer dan tien procent van de mannelijke be-  
volking al vóór de leeftijd van twintig jaar  
voorkomen. Ook atherosclerotische plaques  
worden op die leeftijd al waargenomen. Op

Onder: Atherosclerose onder de microscoop. Op de  
eerste foto is te zien hoe vetkristallen in de intima in gepo-  
lariseerd licht oplichten. Rechts daarvan is een aantasting  
te zien waarbij de elastica interna (donker golvend lijntje)  
is opgesplitst en geheel rechts is het intima verbreed door  
toename van bindweefsel (blauw).





hogere leeftijd nemen erosie en verkalking snel toe. Het optreden van atherosclerose als doodsoorzaak is met erosie en vooral met kalkvorming verbonden.

### Risicofactoren voor hart- en vaatziekten

Uit epidemiologisch onderzoek in de jaren vijftig en later zijn meerdere mogelijke risicofactoren naar voren gekomen. Wat rasafhankelijke en andere erfelijke factoren betreft, is de situatie nog onduidelijk. Ook factoren als roken en hoge bloeddruk zijn sterk aan kritiek onderhevig, hoewel zij waarschijnlijk wel bijdragen.

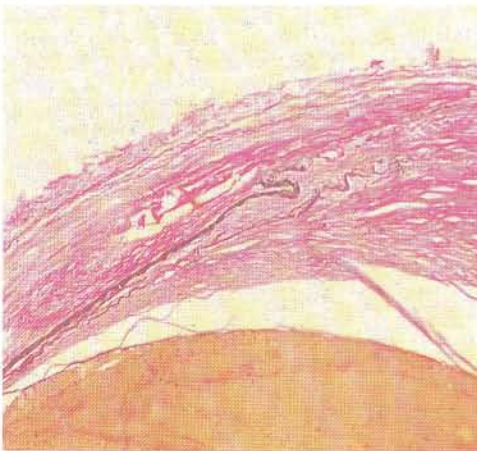
Wat fysieke activiteit betreft, is de situatie verward. Een redelijk constant hoog niveau van fysieke activiteit (bijvoorbeeld door middel van trimmen) wordt gezonder geacht dan een bestaan met een redelijk constant, maar laag niveau van fysieke activiteit (een 'zittend leven'). Ten aanzien van hart- en vaatziekten is het echter zo dat een enkele, overmatige inspanning, meer schade kan berokkenen dan wat een lange periode van constant, maar hoog niveau van fysieke activiteit aan goeds kan doen.

Iets meer houvast bieden de dieetfactoren. In verband met de aard en het verloop van atherosclerose wordt een hoog cholesterolgehalte in het bloed nadelig geacht. Vandaar dat voedingsmiddelen met een hoog cholesterolgehalte worden ontraden bij potentiële patiënten met hart- en vaatziekten. Ook komen de lipi-

den of vetachtige stoffen in beginnende lesies in verhoogde mate voor. Dit zou samen kunnen hangen met het gebruik van vooral dierlijk vet. Het is namelijk bekend dat het gebruik van plantaardige vetten en oliën het cholesterolgehalte van het bloed doet dalen. De verbinding die hiermee vaak gelegd wordt naar het gezond zijn van meervoudig onverzadigde vetzuren is daarmee echter nog niet zeker. Om die te bewijzen zouden meerdere duizenden mensen gedurende tenminste 5 jaar gevolgd moeten worden wat betreft hun dieet en hun ontwikkeling van hart- en vaatziekten.

In 1970 zou volgens Amerikaanse berekeningen voor een dergelijk onderzoek ongeveer 400 miljoen dollar nodig geweest zijn, wat toen ondanks het grote belang voor de volksgezondheid een onverantwoord hoog bedrag werd geacht. Al met al is het bewijs, dat verlaging van de hoeveelheid cholesterol in het serum, door een cholesterolarm dieet, dieetmargarines, of medicamenten de kans op hart- en vaatziekten vermindert, nog steeds niet geleverd. Ook over de behandeling van verhoogde bloeddruk als vorm van primaire preventie van atherosclerose zijn de akten nog geenszins gesloten, maar er zijn geen mededelingen in de literatuur die daarmee in tegenspraak zijn. Tot op heden ontbreken dus de bewijzen, die het drastisch veranderen van de voedings- en leefgewoonten in onze samenleving zouden kunnen rechtvaardigen.

Van de andere kant zijn de genoemde risicofactoren, die door epidemiologisch onderzoek





zijn vastgesteld, wel de eerste 'handvaten' om preventie te bedrijven, maar men moet er zich bewust van zijn dat er zeer langdurig onderzoek moet worden verricht om te bewijzen dat maatregelen tot onderdrukking van de risicofactoren inderdaad effect sorteren. De eerste bewijzen hiervoor werden tussen 1963 en 1975 geleverd. Er is een duidelijke vermindering in de leeftijds-specifieke sterfte aan hart- en vaatziekten opgetreden in de VS en tegelijkertijd is het verbruik afgenomen van tabaksprodukten, melk, room, boter, eieren en dierlijke oliën en vetten, terwijl dat van plantaardige oliën en vetten is toegenomen. Deze verandering van voedingsgewoonten heeft daarom waarschijnlijk wel geholpen, maar het is niet uitgesloten dat er meerdere cofactoren zijn die ook nog veranderd kunnen worden, waardoor een nog betere preventie wordt verkregen.

### Hart- en vaatziekten en drinkwater

Een risicofactor voor hart- en vaatziekten, die intussen eveneens uit epidemiologisch onderzoek naar voren is gekomen, is zacht drinkwater. (De hardheid van het drinkwater is evenredig met het gehalte aan calcium plus het gehalte aan magnesium.) Rond 1960 werd voor het eerst vastgesteld dat het risico voor de dodelijke afloop van hart- en vaatziekten afneemt met toenemende hardheid van drinkwater. In de jaren daarop volgden bevestigingen voor dit feit uit een groot aantal andere westerse landen.

De verklaring voor deze risicofactor werd vanaf het begin in twee volledig tegengestelde richtingen gezocht. Zo werd gesuggereerd dat zacht water meer aanleiding zou geven tot corrosie van de waterleidingpijpen en dus tot verhoogde concentraties van zware metalen. Dit is aanleiding geweest tot een lawine van onderzoeken om vast te stellen welke zware metalen de boosdoeners zouden kunnen zijn. Hierbij werden internationale lichamen ingeschakeld als de World Health Organization (WHO) en de International Atomic Energy Agency (IAEA). Het gevolg is dat er nu een grote hoeveelheid gegevens beschikbaar is over lokale correlaties tussen epidemiologische gegevens van ziekten en doodsoorzaken en concentraties van een groot aantal zware metalen in het drinkwater. Er zit helaas weinig lijn en een onnoemelijk aantal tegenspraken in deze

gegevens. Deze verklaring biedt daarom geen heil.

De alternatieve verklaring heeft men gezocht in het vóórkomen van mineraaltekorten in het drinkwater en dieet. In dit opzicht heeft men dan niet alleen te maken met sporelementen, waarover de bovengenoemde onderzoeken over zware metalen ook uitgebreid melding maken, maar eveneens met elementen, die in hard water bij voorkeur voorkomen.

Welnu, van de zeven belangrijkste elementen uit hard drinkwater is magnesium het enige dat goede vooruitzichten biedt, omdat de concentratie ervan:

- (1) hoger is in hard water dan in zacht water,
- (2) hoger is in de weefsels van hardwatergebruikers dan in de weefsels van zachtwatergebruikers, en



- (3) hoger is in de weefsels van gezonde personen dan in die van mensen met een fatale hartziekte.

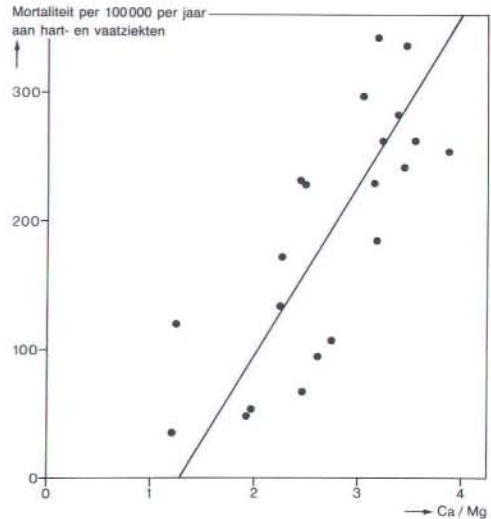
Er zijn echter nog meer argumenten voor magnesium te noemen. Juist magnesium is het element waarvan de opname uit drinkwater ten opzichte van die uit de voeding het hoogste is. Volgens vele onderzoekers wordt door de voeding niet volledig aan de optimum behoefte voor dit mineraal voldaan en is er aanvulling op het dieet nodig, waarin het drinkwater in streken met zacht of zeer zacht water onvoldoende voorziet.

De weldoener in hard drinkwater is zeker niet calcium, hoewel het verband met hart- en vaatziekten daarbij sterk negatief is. Om dit



TABEL 2. Sterfgevallen door ziekten aan de bloedsomloop in Nederland (1983).

Leeftijd (jaar)	Aantal	Leeftijd (jaar)	Aantal
1- 4	9	45-49	690
5- 9	4	50-54	1268
10-14	6	55-59	2114
15-19	32	60-64	3359
20-24	43	65-69	5001
25-29	55	70-74	7332
30-34	121	75-79	9549
35-39	251	80-84	9866
40-44	374	≥ 85	12328
Totaal		52402	



Boven: Fig. 3. Mortaliteit aan hart- en vaatziekten in 21 landen van de OESO als functie van de verhouding tussen de hoeveelheden Ca en Mg die per hoofd van de bevolking worden genuttigd.

Links: Vooral bij oudere mensen komen ernstige gevallen van atherosclerose vaak voor. Geheel links een röntgenopname van een gezonde halsslagader. Deze splitst zich in twee takken, één voor het aangezicht die naar voren loopt en één voor de hersenen die omhoog loopt. Links een opname van een afwijkende halsslagader. De omhoog lopende tak vertoont een sterke vernauwing ten gevolge van aderverkalking.



aan te tonen is de totale dagelijkse inname aan calcium en magnesium voor een groot aantal landen uitgerekend. Vervolgens is de calcium/magnesium verhouding uitgezet tegen de overlijdensfrequentie aan hart- en vaatziekten. Dit leverde op dat er een sterk verband bestaat tussen de calcium/magnesium ratio van het dieet plus het drinkwater en de frequentie van overlijden aan hart- en vaatziekten, zoals te zien is in figuur 3. Latere onderzoeken waarin plaatselijke gegevens uit Finland werden betrokken, gaven een volledige bevestiging van deze gegevens, waarbij de spreiding nog aanzienlijk geringer was. Aldus pleit dit resultaat sterk voor magnesium, maar ook sterk tegen calcium.

### Magnesium en hart- en vaatziekten

Er bestaat een duidelijk verband tussen hart- en vaatziekten en te lage magnesiumgehalten. Bij personen overleden aan een hartaanval bevatten de hartspieren minder magnesium dan bij andere overledenen. Het magnesiumgehalte van het serum is bij ouderen en in het bijzonder bij lijders aan hart- en vaatziekten lager. Tijdens en na hartaanvallen is er een duidelijke daling in serummagnesium welke na ongeveer drie weken weer kan zijn verdwenen; ook patiënten met een onregelmatige hartslag hebben een laag gehalte serummagnesium. Magnesiumgebrek ten slotte veroorzaakt hartkrampen.

Dit verband bestaat ook in positieve zin. Een magnesium bevattend infuus kan de onregelmatigheden in de hartslag tijdens operaties opheffen en een infuus van magnesiumsulfaat en andere Mg-zouten verlaagt de bloeddruk. Dierexperimenten doen vermoeden dat infusen tijdens open-hartoperaties zeker ook een hoeveelheid magnesium moeten bevatten voor het bewaken van een goede gang van zaken. Magnesiumtoediening heeft een gunstig effect op het metabolisme van kalium en via dit effect ook op de hartfunctie. Dit zijn echter alle korte-termijneffecten.

Bekend is dat sterfte door hart- en vaatziekten in landen als de onze minder erg is bij vrouwen dan bij mannen. In Zweden werd gevonden dat oudere vrouwen een significant hoger magnesiumgehalte in het serum hebben dan mannen. Magnesiumgebrek induceert in dierexperimenten aderverkalking en speciaal aortaverkalking. Dit laatste is een lange-termijneffect dat bij de ontwikkeling van hart- en vaatziekten waarschijnlijk van doorslaggevend belang is. Kalkvorming door de afzetting van de genoemde calciumfosfaat-zouten maakt het proces van atherosclerose namelijk onomkeerbaar en daardoor ongeneeslijk. Bovendien verhoogt deze afzetting aanzienlijk het risico van vaatwandbreuk omdat de kalkvorming, zoals eerder beschreven, leidt tot het bros worden van de arteriën.

Toediening van magnesium in de vorm van magnesiumhydroxide of -sulfaat aan het dieet of het drinkwater leidt tot voorkóming van aderverkalking en verkalking van andere organen, die op hogere leeftijd nogal eens voorkomt. Daarentegen leidt langdurig magnesiumgebrek tot een oververzadigd raken van de meeste lichaamsvloeistoffen, dus ook het serum, met calciumfosfaten. Dit bleek ondermeer uit ons laboratoriumonderzoek in Nijmegen, in samenwerking met de Rijksuniversiteit in Gent. Als gevolg van deze oververzadiging slaan de calciumfosfaten dan niet alleen neer in het hart en in de aorta en andere bloedvaten, maar ook in de lever en in de spieren. Vandaar dat langdurige extra toediening van magnesium in toestanden waarbij het gevaar voor het neerslaan van deze calciumfosfaten aanwezig is, gezondheidsrisico's kan verlagen. Ook bij stressverschijnselen in het maag-darmgebied heeft de toediening van extra magnesium getoond gunstig te werken.

Kortom, extra toediening van magnesium in de vorm van magnesiumhydroxide of -sulfaat aan het dieet of het drinkwater kan voorkómen dat atherosclerose, die bij het merendeel van de oudere mensen voorkomt, fataal wordt. Bovendien wijzen epidemiologische gegevens uit dat de bloeddruk lager is in gebieden met een hoge hardheid en dus een hoog magnesiumgehalte van het drinkwater. Ook is



Boven: Door het toepassen van een speciale kleuring is van links naar rechts de toenemende mate van aantasting door atherosclerose van deze menselijke aorta's te zien.

Rechtsboven: Een dwarsdoorsnede door een atherosclerotische kransslagader van het hart toont duidelijk de vele langwerpige cholesterolkristallen in de vaatwand.

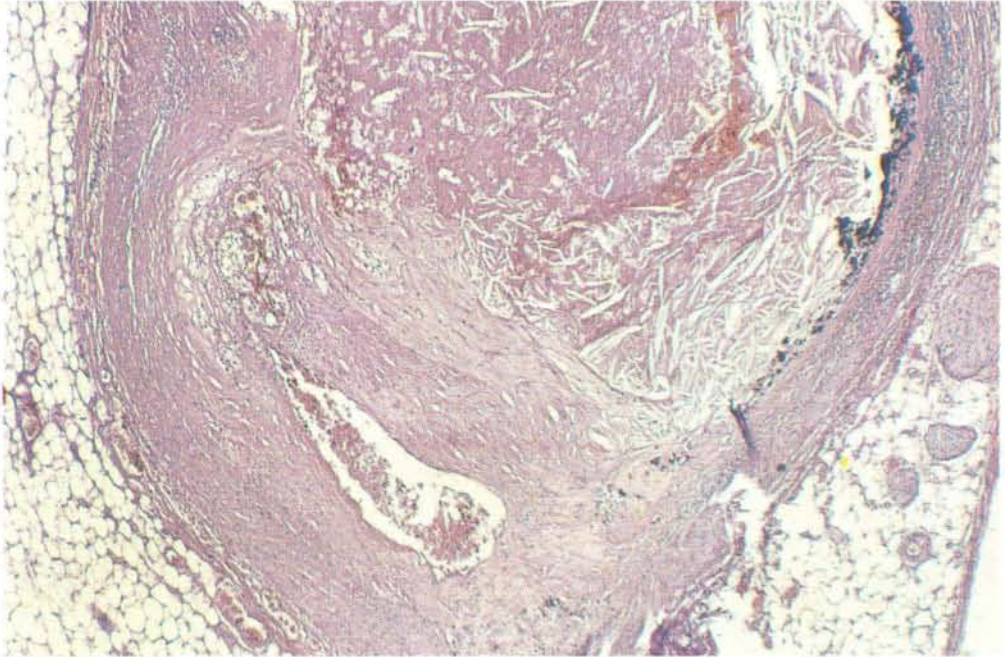
Rechts: Onder een polarisatiemicroscop zijn in gefiltreerde urinemonsters van calciumoxalaatsteen-patiënten kristallen ( $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en beginnende steentjes te zien.



gevonden dat een hoog gehalte serummagnesium samengaat met een laag serumgehalte aan cholesterol en lipiden en een lage serumtroebelheid (turbiditeit). Deze laatste gegevens suggereren dat extra magnesiumtoediening niet alleen de kans op verkalking vermindert, maar ook de kans op vorming van lesies en plaques in de bloedvaten verlaagt, zonder nog te spreken over hun verkalking.

### Magnesium en urinewegstenen

De meeste stenen gevormd in de urinewegen bestaan uit oxalaten en fosfaten van calcium. De rol van magnesium en, onlosmakelijk daarmee verbonden, die van calcium bij de vorming van urinewegstenen zijn al onderwerp van onderzoek sinds het begin van deze eeuw. Reeds in 1929 werd gesuggereerd dat magne-



sium (als oxide) een nuttig middel tot behandeling of zelfs preventie kan zijn bij mensen die lijden aan calciumhoudende stenen in hun urinewegen. In de jaren zestig en zeventig zijn veel studies over de rol van magnesium bij urinewegsteenenvorming verricht en is de behandeling met  $MgO$ ,  $MgCl_2$  en, recenter, ook met  $Mg(OH)_2$  steeds verder naar de voorgrond geschoven. Na veel negatieve publiciteit in de jaren rond 1980, is nu, met name door indrukwekkend patiëntenonderzoek in Scandinavië, weer een duidelijke positieve trend aanwezig. Diverse, deels fundamentele, onderzoeken hebben duidelijke effecten van magnesium aangetoond.

## Magnesium in voedsel en drinkwater

Een risicofactor voor hart- en vaatziekten, die uit epidemiologisch onderzoek naar voren is gekomen, is zacht drinkwater. Alvorens hierop nader in te gaan is het goed enige toelichting te geven op het begrip 'hardheid' van drinkwater. Deze term hardheid is afgeleid van de eigenschap van diverse kationen, zoals calcium, magnesium, ijzer, mangaan en aluminium in water tot de vorming van onoplosbare verbindingen met zeep. Hoe harder het water, des te meer onoplosbare zeepvlokken gevormd worden.

In drinkwater kan de bijdrage van andere kationen dan calcium en magnesium aan de hardheid doorgaans worden verwaarloosd. Indien de hardheid wordt uitgedrukt als de som van het aantal molen calcium en magnesium per liter kan de volgende klasseverdeling voor de hardheid worden aangegeven:

zeer zacht	< 0,5 mol.l <sup>-1</sup>
zacht	0,5 - 1,5 mol.l <sup>-1</sup>
matig zacht	1,5 - 2,5 mol.l <sup>-1</sup>
hard	> 2,5 mol.l <sup>-1</sup>

De significantie van de epidemiologisch gevonden relaties tussen de hardheid van drinkwater en sterfte aan hart- en vaatziekten bleek in de meeste studies vrij zwak te zijn. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het verhoogde risico pas duidelijk waarneembaar is in gebieden met zeer zacht water. Overigens bleken de correlaties significanter te zijn naarmate de onderzochte gebieden (populaties) groter waren. Als mogelijke oorzaak voor de gevonden (statistische) verbanden is met name het magnesiumgehalte van drinkwater van belang, omdat de totale dagelijkse inname aan magnesium voor een belangrijk deel afkomstig is van drinkwater. Bovendien is gebleken dat het magnesiumgehalte van voedingsmiddelen zoals aardappelen en groenten aanzienlijk afneemt (30 à 40 procent) tijdens het koken. Doordat men het kooknat doorgaans wegwerpt betekent dit dat de inname via voeding lager zal zijn dan verwacht.

In de tabel zijn enkele gegevens opgenomen over het magnesiumgehalte van drinkwater en voeding. Bij de evaluatie van de in de tabel aangegeven waarden, dient men zich te realiseren dat er per individu aanzienlijke verschillen kunnen zijn in de opnamepercentages van magnesium via voeding en drinkwater.

TABEL I-1. Het magnesiumgehalte in een standaardlevensmiddelenpakket (11300 kJ per dag)

Levensmiddel	Mg[mg]
<b>Plantaardig</b>	
Graan en graanprodukten	88
Aardappelen	25
Groenten	45
Vruchten	16
Vetten	-
Suiker	1
Noten	20
Koffie, thee en cacao	40
Bier en overige alcoholische dranken	10
<b>Totaal plantaardig</b>	<b>245</b>
<b>Dierlijk</b>	
Melk en melkprodukten	48
Vlees en pluimvee	30
Vis	4
Eieren	3
<b>Totaal dierlijk</b>	<b>85</b>
<b>Drinkwater*</b>	
Zacht (2 liter)	4
Hard (2 liter)	30
<b>Totaal drinkwater</b>	<b>34</b>
<b>Magnesium in totale pakket</b>	<b>350</b>

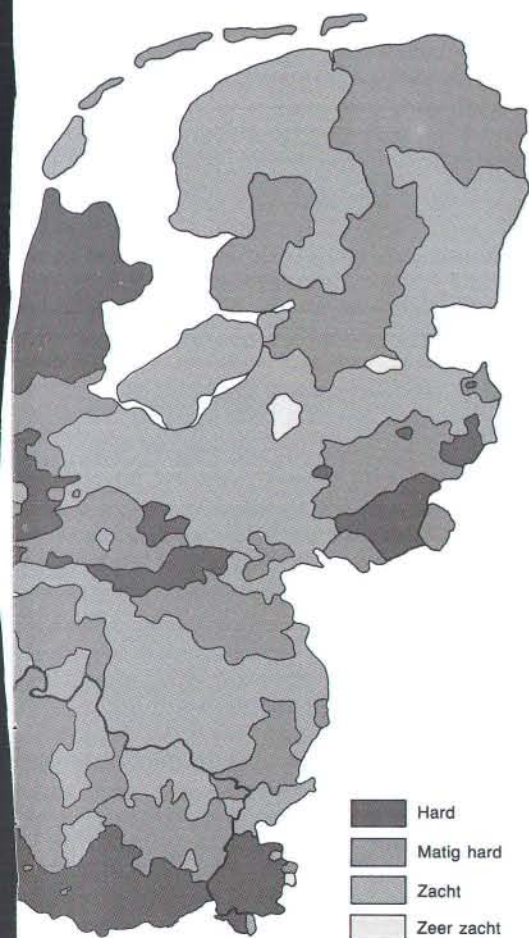
\* Het magnesiumgehalte in drinkwater loopt niet altijd parallel met de hardheid



**Dr. B.J.A. Haring**

*Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne  
Leidschendam*

Fig. I-1. Ons drinkwater is niet overal gelijk van samenstelling; vooral de hardheid verschilt van plaats tot plaats vaak sterk. Het kaartje laat deze hardheidsverdeling zien, waarbij in het Vlaamse deel 'zacht' zowel zacht als zeer zacht water aanduidt.



Magnesium bindt oxalaationen chemisch in de darm, waardoor dit voor steenvorming misschien belangrijkste ion in urine in lagere concentraties terecht komt. Aangezien ook calcium oxalaat bindt, is de  $Mg/Ca/oxalaat$ -balans in de darm als gevolg van de voeding (nog afgezien van andere bindende ionen als fosfaat en dergelijke) van doorslaggevend belang voor de absorptie van steenvormende ionen door de darmwand.

Magnesium vergroot de oplosbaarheid van calciumoxalaten en verkleint op deze wijze de oververzadigingsgraad (en dus ook de kristallisatieneiging) van de urine, alsmede de kans op kiemvorming (het ontstaan van nieuwe kristallen).

Magnesium remt de groei van calciumoxalaat-kristallen, zelfs als met de veranderde oplosbaarheid rekening wordt gehouden. Ook de kiemvorming wordt geremd. Door deze kiemvormingsremming kunnen kristallen in aanwezigheid van magnesium echter verder uitgroeien, aangezien *minder* kristallen eenzelfde hoeveelheid oververzadiging kunnen weggroeien. Het effect van magnesium op de agglomeratie (het samenklonteren) van eenmaal gevormde kristalletjes is een (relatief zwakke) remming bij de tot nu toe onderzochte condities. Desondanks mag worden verwacht (gezien het feit dat bijna alle urinewegstenen agglomeraten van zeer veel kleine kristalletjes zijn) dat het effect op agglomeratie het belangrijkste is.

Magnesium vergroot de uitscheiding van citraat en van pyrofosfaat; beiden worden beschouwd als actieve remmers van kristallisatie. Een deel van de remmende werkingen van  $Mg$  en van deze anionen zouden in principe elkaar kunnen opheffen door complexvorming onderling. Recent eigen onderzoek in Leiden heeft echter aangetoond dat complexen zelf een sterker remmende werking kunnen hebben dan de afzonderlijke, samenstellende ionen. Onderzoek met urine van patiënten en proefdieren na magnesiumtherapie liet inderdaad een verminderde kristallisatieneiging en toegenomen netto remming zien.

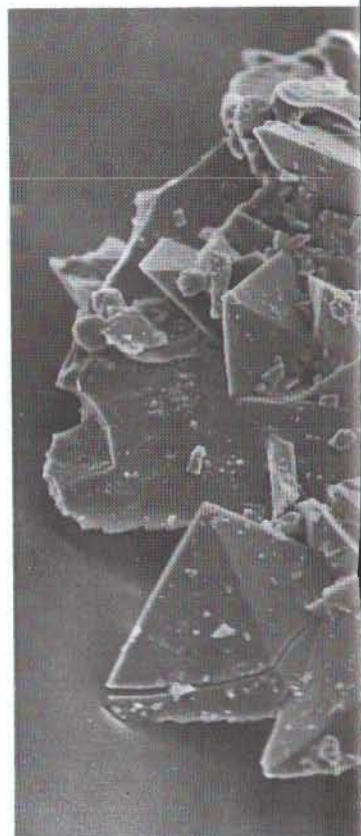
Afgezien van deze, nu grotendeels algemeen geaccepteerde, chemische en fysische effecten van magnesium zijn ook vele klinische studie-resultaten geboekt. De overtuigend afgenomen steenfrequentie bij patiënten met magnesium-behandeling is voornamelijk terug te voeren

op de vrijwel altijd gemeten toename van de magnesiumconcentratie, de meestal ook waargenomen daling in de oxalaatconcentratie en de zeer vaak gemeten daling van de calciumconcentratie in urine.

Bij bovenstaande onderzoeken is nog niet uitgegaan van een werkelijk magnesiumgebrek in het dieet en het drinkwater, zoals men die bij het huidige voedingspatroon ziet. Hoewel niersteenlijden duidelijk een ziekteverschijnsel is, dat van meerdere factoren afhankelijk is, kan men toch als een van de risicofactoren het wijdverbreide, niet direct merkbare magnesiumgebrek zien. Magnesiumtekort kan in ieder geval een directe oorzaak zijn van niersteenvorming. Fosfaat in de voeding kan hierbij nog een versterkende rol spelen. De vooral in de landen van de OESO (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling) sterk toegenomen vleesconsumptie, kan een verhoogde fosfaatopname veroorzaken. Zeker is dat het (vooral dierlijk) eiwitgebruik een toename bewerkstelligt van de calcium-, de oxalaat- en de uraat- (en urinezuur)concentratie in de urine. Zeker is ook, dat de toegenomen steenfrequentie in de periode van na de Tweede Wereldoorlog tot nu sterk verband houdt met de opgenomen hoeveelheid dierlijk eiwit in de voeding (op mondiale, zowel als op nationale schaal). De huidi-

Rechts: Nier- en blaasstenen veroorzaken vaak veel pijn, niet in de laatste plaats door hun scherp gepunte uiterlijk. Zo'n steentje bestaat vaak uit samengeklonterd steengruis.

Geheel rechts: De calciumoxalaatsteen (deze is 2 cm lang) is de meest voorkomende urinewegsteen. Dit exemplaar bevond zich in de urineleider en is een goed voorbeeld van een typische westerse welvaartssteen.

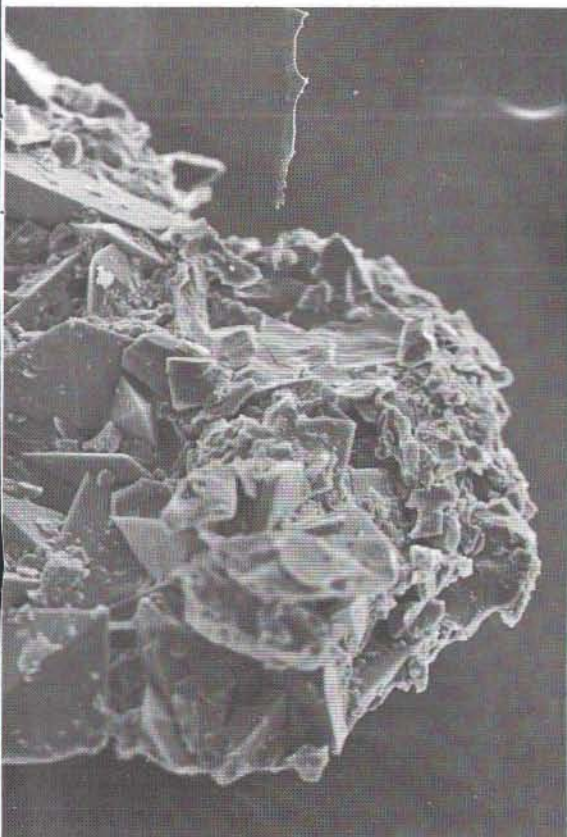


Boven: Aan een doorsnede van een niersteen is duidelijk te zien dat zo'n steen niet ineens ontstaat, maar door kristallisatie van calciumzouten na de kiemvorming laag voor laag groter wordt.

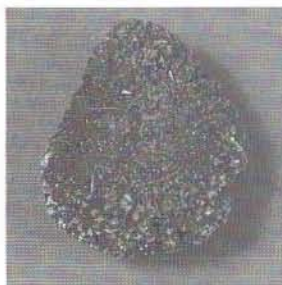
ge consumptie van dierlijk eiwit is meer dan 50 procent hoger dan in 1950 en er zijn sterke aanwijzingen dat het aandeel van urinewegstenen, gevormd in de hogere urinewegen en bestaande uit calciumoxalaat (vaak met een kern van uraat/urinezuur), ook sterk is toegenomen. In ieder geval wordt in ons land nu door vier tot vijf procent van de bevolking ooit stenen gevormd, waarvan meer dan 95 procent calciumoxalaten en -fosfaten als hoofdbestanddeel bevatten.

Het bovenstaande toont duidelijk aan dat met sterke interesse naar magnesium moet worden gekeken. Een te geringe magnesiumtoediening via de voeding en het drinkwater speelt een voorname rol bij de steenvorming. De grote rol van magnesium in het drinkwater wordt nog eens onderstreept door de onderzoeken betreffende de invloed van hard water op steenvoorkomen. Internationaal top-





jonge leeftijd gegeven zou moeten worden. Het is volgens deze gegevens de moeite waard om interventiestudies te beginnen, waarin het effect van deze toevoeging op hart- en vaatziekten en urinewegsteenlijden over langere termijn wordt nagegaan. Men mag daarbij niet vergeten dat de inname van hoge calcium- en/of fosfaatdoses, zoals die in het dieet van velen van ons voorkomen, de effecten van magnesiumgebrek mogelijk nog versterken en daarmee de behoefte aan magnesiumtoediening vergroten. De sociale effecten van hart- en vaatziekten en ook van niersteenlijden zijn zo groot dat de schrijvers van dit artikel de hoge uitgaven, die nodig zijn voor bovengenoemde interventiestudies, verantwoord achten, vooral ten behoeve van de jongere generatie en van ons nageslacht.



onderzoek op dit gebied toont geen of een negatief verband tussen waterhardheid en steenvoorkomen. Dit resultaat op zich toont al aan dat het effect van de grote hoeveelheid calcium in hard water minstens volledig gecompenseerd wordt door remmende of andere factoren in het drinkwater, waarbij magnesium als voornaamste en meest waarschijnlijke weldoener genoemd wordt.

Er zijn volgens het bovenstaande vele redenen om ervoor te waken dat de dagelijkse magnesiuminname per hoofd van de bevolking voldoende blijft. Waarschijnlijk voldoen de voeding en het drinkwater gemiddeld genomen niet aan de bestaande behoefte aan magnesium. Dit suggereert dat toevoeging van magnesiumoxide, -hydroxide of magnesiumzouten aan het dieet gunstig zou werken. De gegevens suggereren verder dat deze suppletie vanaf

Bij de auteurs is op aanvraag een uitgebreide lijst literatuurreferenties met betrekking tot dit artikel verkrijgbaar. Een kaartje naar: prof. dr. F.C.M. Driessens, Postbus 9101, 6500 HB Nijmegen, is voldoende.

#### Bronvermelding illustraties

Unilever Research Laboratorium, Vlaardingen: pag. 56-57.  
St. Radboudziekenhuis, Nijmegen; J. Vincent: pag. 58 (boven); H.O.M. Thijssen: pag. 60, 61.  
W.W. Meyer, Bazel: pag. 58 (onder).  
Ziekenhuis St. Annadal, Maastricht; Afd. Pathologie: pag. 59; H.L.L. Frank: pag. 63.  
C. van Gent/Gaubius Instituut Leiden: pag. 62.  
A.M. Balnikker, scriptie *Ontharding van drinkwater*, cursus milieutechniek STIAD/D. Verhoeve, G. Janssens, uit *Water* 1984, nr. 16, Brussel: pag. 64-65.  
De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.

# ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving  
**natuur en techniek**

## Charles F. Richter 1900-1985

Elf dagen na de zwaarste beving van de afgelopen zes jaar overleed op 85-jarige leeftijd professor Charles F. Richter, de grondlegger van de nu algemeen gebruikte sterkteschaal voor aardbevingen. Vijftig jaar geleden, in 1935 introduceerde hij de methode om aardbevingen in sterkte en energie-uitstraling, met elkaar te vergelijken op een wijze die een groot, in feite onbegrensd, dynamisch bereik omvatte en die tegemoet kwam aan de eis van een relatief simpele meting.

Oorspronkelijk werd deze magnitudeschaal door Richter ontwikkeld voor lokale Californische bevingen. Het begrip magnitude vond hij bij sterrekundigen, die het gebruiken als maat voor de lichtintensiteit van hemellichamen. Wel draaide hij de richting om, een hoge magnitude bij astronomen staat voor *geringe* lichtsterkte, terwijl bij aardbevingen een hoge magnitude juist een *sterke* aardbeving aanduidt.

In de loop van de volgende decennia werd de schaal aangepast en verfijnd zodat ook bevingen op grote afstand en ook diepe bevingen met elkaar vergeleken konden worden. Het meest populair is de  $M_s$ -schaal die de maximale amplitude gebruikt van oppervlaktegolven van 20 seconde periode, waarbij gecorrigeerd wordt voor de afstand waarop de meting gedaan wordt. Diepe bevingen en ook oppervlaktebevingen van geringe sterkte wekken niet genoeg energie op in dit periodebereik. Daarom werd ook een schaal ontworpen voor volumegolven, de golven die het registrerend station bereiken via de directe weg door de aardmantel of de

aardkern, vergelijkbaar met geluidsgolven als ze van het longitudinale type zijn. Deze golven hebben doorgaans kortere periodes en het bereik van deze  $M_b$ -schaal is dan ook anders dan van de oppervlaktegolven. Naast deze twee belangrijkste magnitudeschalen  $M_s$  ( $s$  = surface) en de  $M_b$  ( $b$  = body) zijn er nog een aantal, waaronder de lokale magnitude,  $M_L$ , die nog het meeste weg heeft van de oorspronkelijk door Richter gebruikte en de  $M_0$ -magnitude, die gemeten wordt aan het lang-periodische eind van het



Charles F. Richter maakte zijn levenswerk van de studie van aardbevingen. Zelfs in zijn slaapkamer stond een seismograaf. (Foto: Earthquake Information Bulletin).

spectrum (nul-frequentie) en daarmee een maat geeft voor het moment van de verplaatsing in de haard.

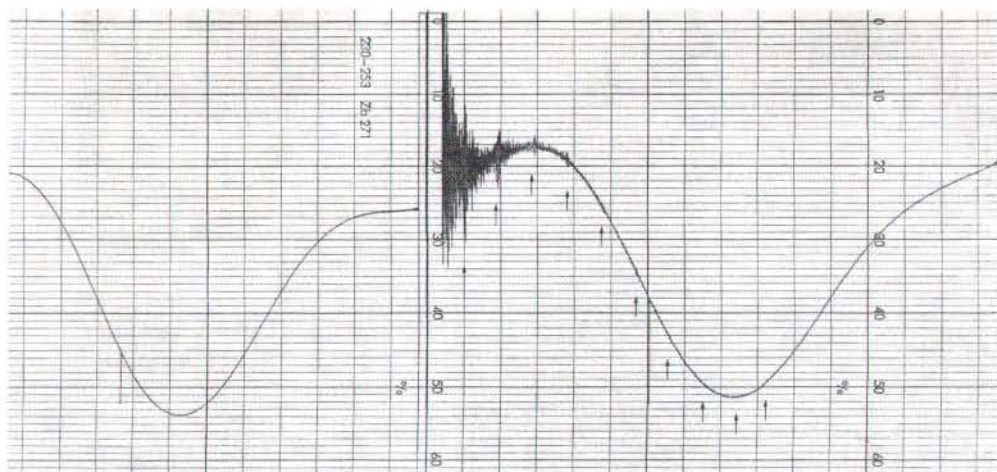
Het grote belang van het werk van Richter is geweest dat hij de methode heeft aangegeven, ontworpen en op grote schaal gebruikt om aardbevingen over de gehele aarde in sterkte met elkaar te kunnen vergelijken. Uiteraard kan niet gezegd worden dat niet een ander op het idee gekomen was wanneer Richter niet de eerste was geweest. Richter zelf beseftte dit heel goed. Hij heeft zich er dan ook nooit op laten voorstaan. In feite verwonderde hij zich erover dat aan de schaal zo duidelijk zijn naam gekoppeld werd, geheel in tegenstelling met zijn eigen bescheiden aard. Richter was afkomstig uit de theoretische fysica, maar vanaf zijn 27-jarige leeftijd tot zijn pensionering toe was hij werkzaam in het Seismologisch Laboratorium van het Californisch Instituut voor Technologie in Pasadena. Hij voelde zich bijzonder betrokken bij het dagelijkse operationele werk met betrekking tot aardbevingen en dan speciaal die van Zuid-Californië.

Zijn betrokkenheid bleek mij duidelijk toen hij mij zo'n twintig jaar geleden vertelde sinds kort een seismograaf in zijn slaapkamer te hebben opgesteld. Hij kon dan onmiddellijk antwoord geven op telefoontjes van nieuws-agenten en media wanneer zich in de avond of nacht weer eens een aardbeving had voorgedaan die door mensen gevoeld was!

Na zijn pensionering in 1970 is hij nog jaren actief geweest op consultbasis, speciaal op het gebied van seismisch risico.

**A.R. Ritsema**  
KNMI, De Bilt





De Mexico-aardbeving van 19 september 1985, zoals geregistreerd door de LaCoste-Romberg gravimeter van het KNMI in De Bilt. Een groot aantal doorgangen van de mantel Rayleighgolf is te onderscheiden (pijlen). (Foto: KNMI, De Bilt.)

## Aardbeving Mexicostad

Op 19 september 1985 werd Mexicostad getroffen door een zware aardbeving (magnitude 8.0), waarvan de haard op ongeveer 400 km van de stad gelegen was buiten de Pacifische kust van Mexico. De grote schade zo ver van het epicentrum werd veroorzaakt door de sterkte van de beving zelf, de grondstructuur op de plaats waar de schade optrad en de gebruikte bouwwijze voor hoogbouw.

In de laatste 10 jaar hadden slechts zeven bevingen een sterkte die vergelijkbaar was met de Mexico-beving.

De Mexico-aardbeving wekte elastische golven op die zich door en langs de oppervlakte van de gehele aardglobe voortplantten. In de Bilt, op 87° of ongeveer 9600 km van het epicentrum gelegen, werd nog een maximale bodembeweging gemeten van de orde van 1 tot 2 mm. De periode van deze beweging was meer dan 20 seconden, zodat de beweging voor mensen niet merkbaar was. Mantelgolven, tot diep in de aardmantel stekende oppervlak-

tegolven, met periodes van 3 tot meer dan 10 minuten werden door de beving opgewekt. Van deze golven werden in De Bilt tenminste 11 doorgangen gemeten. De eerste doorkomst is de directe *Rayleighgolf* van epicentrum naar het station, de tweede doorgang R2 komt binnen via de antipode en doorliep dus een afstand van  $360^\circ C$  minus  $87^\circ C = 30400$  km. De derde doorkomst R3 was die van de golf gestart in de richting epicentrum – station maar met een extra omloop van de aarde, etcetera. De R11-golf heeft daarmee meer dan vijf maal de aarde omcirkeld en komt ongeveer  $15\frac{1}{2}$  uur na het moment van de aardbeving in het station De Bilt aan.

Deze aardbeving illustreerde weer eens het gevaar van bouwen op slappe ondergrond ook in gebieden die niet direct binnen een seismische gordel gelegen zijn. In losse zompige bodem kan door trillingen makkelijk solifluctie of liquifactie optreden, waarbij de bodem plotseling nog slapper wordt en waaruit plotselinge verzakkingen kunnen resulteren. Wanneer dit plaats vindt onder het fundament van een bouwwerk, loopt het gevaar al of niet

scheef weg te zakken en in te storten. Dit was voor een aantal gebouwen in Mexicostad het geval. De bodem bestaat er uit relatief jonge meerafzettingen.

Ook de bouwwijze kan in enkele gevallen tot zo desastreuze schade hebben bijgedragen. Wanneer niet goed acht geslagen wordt op bouwvoorschriften met betrekking tot dwarsverbindingen tussen vloeren en wanden en de verankering van het geheel op een stevig fundament, kunnen deze gevolgen makkelijk optreden.

Theoretisch en ook in de praktijk is het mogelijk om aardbevingsresistent te bouwen. Daartoe moet het 'frame' van het bouwwerk star zijn zoals dat bv. bij een schip het geval is. Een schip moet immers in hoge zee versnellingen kunnen doorstaan die vergelijkbaar zijn met die welke bij zware aardbevingen optreden. Tussenschotten en bouwfranje kunnen dan wel schade oplopen, maar het bouwwerk als geheel blijft intact en het aantal mensenlevens dat in gevaar komt door instorting wordt hierdoor direct geminimaliseerd.

**A.R. Ritsema**  
KNMI, De Bilt

## IJsvleugels

Twee studenten luchtvaarttechniek aan het Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge V.S., hebben een nieuw systeem ontwikkeld om ijsafzetting op de vleugels van vliegtuigen te registreren. De instrumenten meten zowel de dikte als de aangroeisnelheid van de ijslaag.

Het ontwerp bestaat uit een puls-generator die zich in de vliegtuigromp bevindt, verbonden met een serie elementen, met de vorm van een stapeltje kwartjes, die in de voorrand van de vleugel zijn geplaatst. De elektrische signalen uit de pulsgenerator laten de elementjes trillen, waardoor geluidsgolven vanuit de vleugel naar buiten worden gestuurd. Bevindt zich ijs op de vleugel, dan kaatst een deel van de geluidsgolven terug van de ijs-lucht overgang. De elementen vangen de reflectie op en sturen een stroompje terug naar een ontvanger, waarin met een computer de tijd tussen pulsgiften en terugkeer wordt berekend. Deze tijd is een maat voor de dikte van de ijslaag. Door de meting periodiek te herhalen wordt een beeld gevormd van de aangroeisnelheid.

De door de computer verwerkte gegevens worden vervolgens in de cockpit op een scherm geprojecteerd, waardoor de piloot weet wanneer er sprake is van ijsvorming. De omstandigheden waarin ijs afgezet wordt op luchtvaartuigen zijn meestal maar in een beperkt gebied en op een bepaalde hoogte aanwezig, zodat er gemakkelijk aan ontkomen kan worden door een paar honderd meter te stijgen.

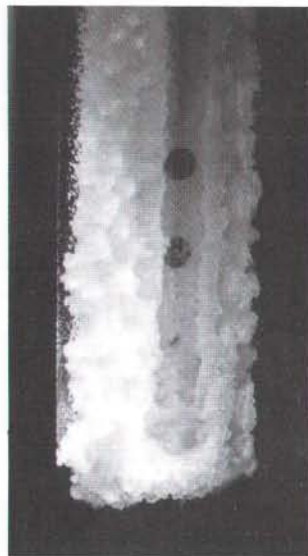
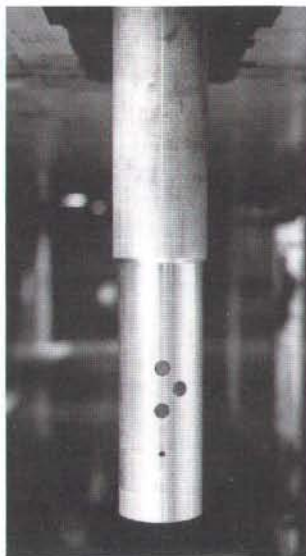
De vinding is tot nu toe al uitgebreid getest in het laboratorium van het MIT en onder allerlei koude-omstandigheden in een windtunnel van de NASA. De ingenieurs in opleiding zijn nu bezig met het opzetten van een praktijkproef aan boord van een

speciaal voor ijsafzettings-onderzoek toegerust vliegtuig van de NASA.

Als deze laatste proeven zijn afgerond hopen de onderzoekers een lucratief project te hebben volbracht. Zij verwachten namelijk een enorme afzet van hun produkt, omdat vliegen in gebie-

den met ijsvormingsrisico daarvoor mogelijk wordt. Nu verbieden de Amerikaanse luchtvaartreglementen dat nog, waardoor vaak ver omgevlogen moet worden en vluchten de nodige vertraging oplopen.

(Persbericht MIT)



De ijsdetector voor vliegtuigen tijdens een windtunneltest. De zwarte gaten zijn de sensoren, die op ijsgevoelige plaatsen gemonteerd worden. De rechter foto toont dezelfde cilinder aan het eind van de test. (Foto's: MIT, Cambridge, Mass.).

## Chelatie: metalen in de tang

Metaalionen zijn nodig voor een goede biochemische werking, althans op voorwaarde dat de concentratie binnen bepaalde grenzen wordt gehouden. Grote hoeveelheden zijn schadelijk, niet alleen voor de gezondheid, maar ook voor de omgeving en de dingen van alledag.

Chelerende verbindingen van het aminocarbonzuurtype zijn geknipt om metaalionen onschadelijk te maken. Zulke produkten zijn negatief geladen en vormen sterke ringstructuren met de me-

taalionen. Deze complexe verbindingen, chelaten (van het Griekse 'chelos', wat krabbeclauw betekent) genoemd, sluiten de metalen als het ware op. Karakteristiek hierbij is dat de positieve metaalionen omgezet worden tot neutrale of negatief geladen chelaten, wat de reactiviteit totaal kan verlammen of ombuigen.

De meest bekende chelerende stof is EDTA, deze letters staan voor etheendiamentetra-acetaat, dat een ingrediënt is van talloze consumentenprodukten. Oogdrup-



pels en reinigingsmiddelen voor contactlenzen bevatten EDTA, opdat geen metaalresten neerslaan, die het zicht vertroebelen. Er is echter een veel belangrijker gegeven. Koste wat het kost moet worden vermeden dat bacteriële contaminatie, vooral van gram-negatieve bacteriën, optreedt. In het bijzonder de *Pseudomonas*-soorten zijn gevaarlijk voor het oog. Antibacteriële middelen helpen weinig, aangezien de *Pseudomonas*-bacteriën hiertegen zeer resistent zijn door de opbouw van een dubbele celwand. Het EDTA neemt calcium- en magnesium-ionen op, die essentieel zijn voor de stevigheid van deze dubbelwand. Het gevolg is dat EDTA het ontwikkelen van weerstand tegen antibacteriële medicamenten afremt.

Deze vitale functie wordt gretig uitgebuit in allerlei schoonheids- en schoonmaakprodukten. Shampoo's, lotions, vloeibare zepen, cosmetica, verzorgingscrème's hebben EDTA nodig voor de stabiliteit: het parfum wordt minder snel gestoord door oxidatieprodukten, kleurveranderingen worden tegengegaan, oplossingen blijven helder, olie-in-water emulsies (crème's) worden minder vlot aangetast.

De reinigende kracht van schoonmaakmiddelen is vele malen sterker indien EDTA aanwezig is. Metaalionen uit hard water, die verantwoordelijk zijn voor aanslag en neerslag, worden in oplossing gehouden. Hinderlijke strepen en vlekken, die na spoelen achterblijven, worden dus voor het oog geëlimineerd. Ook de effectieve werking van de populaire stoommethode om tapijten te reinigen berust goeddeels op de gunstige eigenschappen van EDTA. Als additief in voedingsmiddelen heeft EDTA eveneens zijn plaats. Door oxidatieve processen, die gekatalyseerd worden door metaalionen, ontstaan normaal gesproken snel ranzige smaken en geuren in mayonaise en in sausen op basis van mayonaise. Sporen EDTA zijn voldoende om deze

nadelige effecten uit te stellen en een lange bewaartijd te garanderen.

Een andere nuttige toepassing van EDTA vinden we in de plantenwereld. Naast stikstof, kalium en fosfor hebben planten sporelementen, zoals ijzer, zink, koper en mangaan, nodig om uit te groeien. Doch dit stelt een aantal problemen: indien fosfaten aanwezig zijn in de meststof, slaan de sporelementen onmiddellijk neer, waardoor ze de wortels niet meer kunnen bereiken; toedienen van deze sporelementen als zodanig is evenmin effectief, daar de positief geladen ionen geadsorbeerd blijven aan de negatief geladen klei. Als EDTA-chelaten kunnen de spoormetalen niet meer neerslaan en door de negatieve lading bewegen de complexen ongehinderd door klei naar de wortelzone.

Recent maakt de zogeheten chelatietherapie opgang, o.a. bij de behandeling van aderverkalking, verkalkte hartkleppen, gangreen, artritis, reumatische aandoeningen en psoriasis. De patiënten werden in deze alternatieve geneesmethode via een armader ingespoten met een kleine hoeveelheid EDTA. Volgens het protocol van de American Academy of Medical Preventies en wanneer de operatieve indicaties niet uit het oog verloren worden, kan, volgens de artsen die haar toepassen, chelatietherapie een veilige en doeltreffende behandeling zijn voor patiënten met atherosclerose. In Nederland en België bestaan centra voor chelatietherapie. Opmerkelijk zijn de resultaten, die geboekt werden bij genezing van gangreengevallen, waar amputatie van voet of been dreigend was.

Tenslotte vindt EDTA nog toepassing als middel tegen zware metalen, bijvoorbeeld bij loodvergiftiging of bij ongelukken met radioactieve elementen.

**Dr. D. De Keukeleire**

Onderzoekslider bij het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijke Onderzoek, Rijksuniversiteit Gent

## Bioritmen in de levende cel

Een belangrijk onderdeel van de biofysica, het bestuderen van levende organismen met fysische hulpmiddelen, bestaat uit het bestuderen van de toestand en de regeling van de activiteit van levende cellen. Hierbij is het belangrijk precies te weten hoe cellulaire processen in de loop van de tijd veranderen.

Door de ontwikkeling van technieken voor weefselkweek en voor het filmen van levende cellen onder de microscoop zijn reeds lang celritmen bekend met een periodiciteit van enkele maanden (seizoensgebonden ritmen) tot één seconde. Vanwege enkele technische problemen werden snellere ritmen tot nu toe voornamelijk bestudeerd in geïsoleerde celorganellen en biochemische systemen, niet in intacte levende cellen. Door het toepassen van lasertechnieken is echter sinds kort de mogelijkheid geschapen aanzienlijk snellere microstructurele processen in levende cellen te bestuderen. Zo maken bij voorbeeld Doppler-laserspectroscopie en spectrofotometrie het mogelijk processen in de cel te volgen met een periodiciteit van slechts enkele picoseconden ( $10^{-12}$  s).

Een groep onderzoekers van de universiteiten van Rostov en Moskou heeft onlangs getracht experimenteel de aanwezigheid aan te tonen van snelle periodieke veranderingen van biologische microstructuren in levende cellen. Bovendien hebben zij de natuurlijke frequentie van deze verschijnselen zo nauwkeurig mogelijk gemeten. Als onderzoeksobject werd gekozen voor het geïsoleerde mechanoreceptorisch orgaan van de rivierkreeft, een 'zintuig' dat mechanische druk of contact registreert. Het werd in een glazen kamertje, gevuld met een fysiologische oplossing, op de objecttafel van een laserprojectie-microscop geplaatst. Er werden



fotografische opnamen gemaakt van verschillende microstructuren van de zenuwcel en de daaromheen liggende gliacellen met intervallen van 15 s, 1 s, 60 ms en 0,1 ms.

Deze opnamen leverden verrassende, fundamenteel nieuwe feiten op. In de interfasekernen (de zich niet delende kernen) van de gliacellen en neuronen bleken ringvormige chromatinestructuren met een doorsnee van 2  $\mu\text{m}$  aanwezig te zijn. Deze ringen ontstonden en verdwenen afwisselend in verschillende delen van de kern en wel met een frequentie van 1 s tot 0,1 ms. Een verdere uitwerking van deze techniek zal zeker bijdragen tot meer fundamentele en toegepaste kennis over de levende cel.

**L.A.M. van der Heijden**  
(Bron: Priroda)

## Glas lost op in water

Al enige tijd is bekend dat glas in water oplosbaar is. Niet zodanig dat bij een fikse bui uw dure isolatie-beglazing als suikergoed wegschoft, maar net genoeg om bij modern technisch gebruik verstrekkende gevolgen te hebben. Het oplossen vindt plaats aan het oppervlak van het glas en is zelfs met een microscoop niet te zien. Beeldplaten en glasvezelkabels voor communicatie doeleinden moeten echter een puntgaaf oppervlak hebben, voor optimale reflectie van laser- en lichtstralen en om haarscheurtjes en breuk te voorkomen.

Het is dan ook niet verwonderlijk, dat het antwoord op de vraag hoe water glas aantast, afkomstig is van het Natuurkundig Laboratorium van 'een gloeilampenfabriek in het zuiden des lands'.

De onderzoeker, B.M.J. Smets, behandelde glas met water, waarna hij met behulp van secundaire

ionenmassaspectrometrie naging wat er met de in het glas aanwezige natriumionen gebeurde. Hiertoewerd het te onderzoeken monster in vacuüm met snelle ionen gebombardeerd. Laag voor laag werden deeltjes van het oppervlak weggeschoten, waarna hun aard en concentratie bepaald konden worden. Daarnaast vond een oppervlaktestructuur-bepaling plaats met behulp van röntgenstralen. Deze zorgen ervoor dat elektronen met een bepaalde energie vrijkomen. Deze energie is kenmerkend voor de aard van de oppervlaktestoestand.

Uit de analysegegevens blijkt dat de aantasting van silicaatglas in eerste instantie teweeg wordt gebracht doordat watermolekulen het glasnetwerk binnendringen. Daar nemen waterstofionen uit het water de plaats in van natriumionen, die aan zuurstof in het glas gebonden zijn. De vrije natriumionen diffunderen met de uit het water overgebleven hydroxide-ionen naar het oppervlak, waar ze een basische oplossing vormen die het glasnetwerk oplost.

In glas met een hoog aluminiumgehalte komen geen zuurstofgebonden, maar aluminaatgebonden natriumionen voor. Het uitloogproces verloopt nu veel trager, waardoor aluminiumglas veel corrosiebestendiger is.

(Persbericht Philips)

## Leven uit de ruimte?

Hoe waarschijnlijk is het dat het aardse leven afkomstig is uit de ruimte?

De aarde bestaat zo'n 4600 miljoen jaar, het leven erop begon 800 miljoen jaar later. De aardkorst was echter pas kort voor dat begin van het leven (twee- tot vierhonderd miljoen jaar) voldeende afgekoeld om de proces-

sen die tot leven kunnen leiden mogelijk te maken. Deze periode zou wel eens te kort kunnen zijn om de chemische evolutie, voorafgaand aan de biologische, op aarde te kunnen situeren. Velen veronderstellen daarom dat de moleculaire bouwstenen van het leven (cosmochemie), of het leven zelf ons zijn komen aanwaaien (panspermia)

De panspermia-idee omvat vier elementen. Allereerst moet biologisch materiaal in de ruimte gebracht worden, van het planeetoppervlak naar grote hoogte. Vervolgens moet het van het ene zonnestelsel naar het andere getransporteerd worden. Het materiaal moet hierbij een gigantische periode in een levens-vijandige omgeving overleven. Tenslotte moet de levende structuur op een nieuwe gast-planeet terecht komen, waar alleen een gunstig milieu een kans op overleving biedt. Voor de Leidse onderzoekers Weber en Greenberg is de vraag hoe leven in de barre wereldruimte in stand blijft, het meest intrigerend. Zij begonnen daarom experimenten met sporen van de bacterie *Bacillus subtilis*, die zij onder hoog vacuüm bij een temperatuur van 10 K bestraalden met ultraviolet licht.

Het UV waarmee zij hun 'proefkonijnen' te lijf gingen was van een spectrale samenstelling vergelijkbaar met dat van de ruimte. Om een verblijf in de ruimte van miljoenen jaren te simuleren, gebruikten zij licht dat 10 miljoen maal feller is dan interstellair UV.

Uit het Leidse onderzoek blijkt, dat het ruimte-UV, met een betrekkelijk lage energie (<6eV per foton), veel minder schadelijk is dan het licht dat tot nu toe in dergelijke proeven werd gebruikt. Ook vonden de onderzoekers dat de bacteriën het fotonenbombardeement veel beter doorstaan bij 10 K dan bij kamertemperatuur (294 K). Desondanks kan slechts tien procent van de sporen langer dan 150 jaar in de open ruimte overleven.

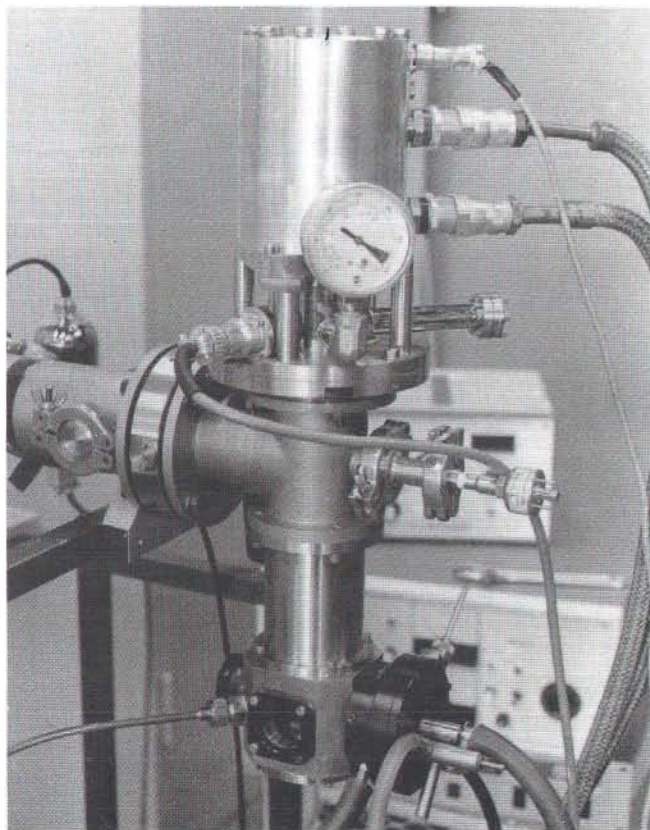


Om panspermia niet meteen te hoeven verwerpen gingen de geleerde heren de invloed na van een molekuulwolk met een samenstelling die in het heelal veel voorkomt. De wolk blijkt zoveel straling te absorberen dat de overlevingstijd van de sporen met een factor 10000 stijgt. Bij astronomisch lage temperaturen 'vriezen' molekulen uit de wolk vast op het sporekapsel, waardoor nog een extra afschermende laag ontstaat, zeker als de molekulen onder invloed van de straling complexe verbindingen gaan vormen. Hierdoor neemt de mogelijke verblijftijd in de ruimte nog eens zo'n dertig maal toe, waar-

door uiteindelijk tien procent van de sporen 4,5 tot 45 miljoen jaar in de ruimte kan overleven. Deze tijd lijkt lang genoeg om van stekkie te kunnen veranderen, ook als die stekkie zich niet meer op loopafstand van elkaar bevinden.

De resultaten vormen een duidelijke ondersteuning voor de panspermia-hypothese, maar bewezen is deze nog lang niet. De vraag blijft nog steeds hoe leven in de ruimte terecht is gekomen en hoe het, tegen de zonnwind in, in ons zonnestelsel door is kunnen dringen.

(Nature)



Bij het Leidse onderzoek naar leven uit de ruimte wordt o.a. gebruik gemaakt van deze cryostaat, om temperaturen van ca. 10 K te creëren. (Foto: J.M. Greenberg).

## Melkstal voor spinnen

In de Sovjet-Unie worden spinnen, schorpioenen en andere arachnidae op grote schaal gekweekt om uitgemolken te worden.

Een van de griezelboerderijen bevindt zich in Alma-Ata in de Sovjetrepubliek Kazachstan. Daar worden in een heuse fokkerij zo'n 16000 giftige tot zeer giftige spinnen gehouden, die samen goed zijn voor een produktie van niet minder dan 30 gram gif per jaar... Kwaliteit gaat hier voor kwantiteit.

Het gif van deze achtvoeters wordt gebruikt voor de produktie van vaccins en medicijnen en als pepmiddelje voor de Sovjet-economie: het spinnevenijn is 20000 keer z'n gewicht in goud waard.

(Sciences & Avenir)

## Pleegmoedermelk

Ook vrouwen die een kind geadopteerd hebben kunnen dit met borstvoeding grootbrengen, een doorgemaakte zwangerschap of een hormoonbehandeling is hiervoor niet nodig.

De techniek bestaat in feite simpelweg uit het aanleggen van de zuigeling aan de borst, waardoor bij het kind de zuigreflex wordt opgewekt en de moederborst aanzet tot melkproduktie. De kans van slagen is het grootst bij een voorbereiding van enkele maanden met extra veel vocht-opname en borststimulatie. Ook kan gebruik worden gemaakt van de hormonen oestrogeen en progesteron, maar deze geven een verhoogd thromboserisico en noodzakelijk zijn ze niet. Met het zogen dient zo vroeg mogelijk begonnen te worden: de baby moet zo jong mogelijk worden geadopteerd.

De pleegmoedermelk is meestal van voldoende hoge kwaliteit, maar er is vaak niet genoeg voor volledige voeding, zodat de fles-geven nodig kan blijven. Een effectieve truc is het toedienen van flesvoeding via een slangetje dat vlak naast de tepel is bevestigd. De baby stimuleert dan bij het drinken de borst, die meer melk gaat produceren.

De waarde van deze voedingswijze is vooral gelegen in de versterking van de emotionele band tussen moeder en kind. Op voorwaarde dat er niet té veel van verwacht wordt, kunnen de adoptieouders en hun baby hun voordeel doen met deze methode.

(The Lancet)

## 'Vingerafdruk' van DNA

Ieder mens een karakteristiek patroon van lijnen en lussen op zijn vingers. Inbrekers en andere misdadige elementen kunnen soms worden opgespoord aan de hand van de vingerafdrukken die ze achterlaten op deurknoppen, meubilair of andere voorwerpen. Onlangs is nu ontdekt dat men ook met behulp van het DNA, het genetisch materiaal wat ieder in zijn cellen heeft, de identiteit van een individu kan vaststellen. In het gezaghebbende wetenschappelijke blad *Nature* is onlangs beschreven hoe m.b.v. het DNA een kwestie over familie-relaties bij immigranten kon worden uitgeplozen. Het betrof een jongen uit Ghana die in Engeland was geboren en naar Ghana was geëmigreerd om zich daar bij zijn vader te voegen. Enige tijd later keerde hij terug naar zijn moeder, broer en zuster in Engeland. Bij de immigratiedienst ontstond echter enige argwaan over zijn identiteit. Men achtte het mogelijk dat een verwisseling had plaatsgevonden, óf voor een andere jongen die geen familie was

óf voor een zoon van een zuster van de moeder. Die moeder had namelijk verscheidene zusters die allen in Ghana woonden. Het gevolg was dat de jongen geen toestemming kreeg zich te vestigen in Engeland. De advocaat van de jongen benaderde toen de afdeling genetica van de universiteit van Leicester met het verzoek een analyse uit te voeren van het DNA van de jongen. De genetici aldaar isoleerden wat DNA uit zijn bloedcellen en splitsten dit in fragmenten. Deze werden geanalyseerd door ze in elektrische velden te laten bewegen. Aan de hand van het patroon dat toen ontstond, de 'vingerafdruk' van het DNA, kon onomstotelijk worden bewezen dat de jongen inderdaad degene was die hij beweerde te zijn. Of hij op grond van deze uitslag ook werd toegelaten wordt helaas niet in het verhaal in *Nature* vermeld.

**Dr. M. Sluys**

*Nederlands Kankerinstituut  
Amsterdam*



## Platvoeten

Voor de diagnose van holle en platte voeten kan men niet meer uitsluitend, zoals tot nu toe gebruikelijk, afgaan op de uiterlijke kenmerken van de voet. Nader röntgenonderzoek is hiervoor noodzakelijk.

Bij een onderzoek naar de bewegingen van de voet heeft de orthopaedisch chirurg R.J. Benink van het Gemini Ziekenhuis in Den Helder een nieuwe vorm van diagnostiek ontwikkeld, waarbij soms aanmerkelijke verschillen werden aangetoond met de traditionele diagnostiek, die gebaseerd was op de uiterlijke kenmerken van de voet.

Voeten die erg plat leken, bleken zich bij nader onderzoek in mechanisch opzicht soms zeer hol te gedragen. De resultaten van dit

onderzoek kunnen consequenties hebben bij bijvoorbeeld het voorschrijven van steunzolen en voor de keuringseisen voor militaire dienst.

Het onderzoek van Benink had tot doel verdergaande inzichten te verkrijgen in de biomechanica van de voet. Door toenemende sportactiviteiten als vrijetijdsbesteding is dat belangrijk vanwege het relatief hoge aantal enkelblessures. Benink stelde proefondervindelijk vast, dat holle voeten instabieler zijn. Platte voeten lijken mechanisch stabiel, zeker bij hogere belasting en lijken een grote ingebouwde veiligheid tegen het oplopen van een enkelbandscheur te hebben.

(Persbericht R.U. Leiden)





Een proefopstelling waarmee het oogsten van water beproefd wordt. (Foto: Th.M. Boers, ILRI, Wageningen).

## Water oogsten

In doorgaans droge gebieden als woestijnen, wil toch nog wel eens een buitje vallen. Meestal is de hoeveelheid regen zelfs heel redelijk, maar valt ze in een korte periode en stroomt onmiddellijk weg over de harde grond. Dan voeren de rivierbeddingen het water razendsnel af naar zee of naar een zoutmeer en is het onbruikbaar voor de bevolking. Om dat te voorkomen, hebben woestijnbewoners al eeuwen lang methoden tot hun beschikking om het water te vergaren en op te slaan. Voortbouwend op deze oude ideeën worden in ons natte kikkerlandje de mogelijkheden van het 'oogsten' van water onder de loep genomen. Het doel hiervan is een goedkope en doeltreffende methode te ontwikkelen, die bij-

voorbeeld in de Sahel door de bevolking zelf uitgevoerd kan worden.

Veelbelovend is het plan van het International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI) in Wageningen. Dit plan behelst de aanleg van dijkjes, waardoor een zwak hellend gebied in vlakken ingedeeld wordt. Het water stroomt bij een regenbui af naar het laagste punt van het betreffende vlak, waar het in de grond wegzakt en door de harde bovengrond beschermd wordt tegen al te snelle verdamping. De bodem vormt zo een opslagruimte voor het water dat in de loop van het jaar gebruikt kan worden.

De meest voor de hand liggende toepassing is watervoorziening voor herbebossing. Dit heeft op zijn beurt weer een gunstige invloed op het microklimaat, waardoor de woestijn wat leefbaarder

wordt. Bovendien levert dit de bevolking extra brandhout op. De methode kan ook gebruikt worden voor bepaalde vormen van landbouw.

Het belangrijkste effect dat verwacht wordt bij uitgebreide toepassing is de bevolkingsspreiding, doordat de bewoners van het gebied niet meer zo afhankelijk zijn van de schaarse waterputten die er zijn. Nu bestaat er rond deze putten vaak overbevolking, waardoor de omgeving ervan snel uitgeput en vertrapt wordt.

Om de oogstwijze te optimaliseren maken de Wageningers gebruik van een computermodel dat aan de praktijk getoetst wordt in de Israëlische Negevwoestijn. Het model, gemaakt voor Nederlandse omstandigheden, blijkt ook toepasbaar voor woestijngebieden.

De volgende stap die nu genomen gaat worden is aan deskundigen duidelijk maken, onder welke omstandigheden de methode wel en niet toegepast kan worden. De ogen zijn vol verwachting gericht op de Sahel, maar toepassingen lijken ook mogelijk in het Midden-Oosten, Oost-Afrika en Zuid-Amerika.

*(Nieuws uit Wageningen)*

## Lactose-vrije zuivel

Melk, onze 'witte motor', doet bij een groot deel van de wereldbevolking de spijsvertering wel erg soepel lopen: ze veroorzaakt diarree. Het grootste deel van de Aziaten en vele Afrikanen kunnen melksuiker, lactose, niet afbreken in hun dunne darm, omdat zij het enzym lactase missen,

dat die afbraak katalyseert. Bacteriën in de dikke darm kunnen wel met lactose overweg, zij zetten het om in melkzuur, wat de buikloop veroorzaakt.

De enige behandeling die tegen de afwijking voorhanden is, is een lactose-vrij dieet. Hierdoor is echter voor veel mensen in hongergebieden voedselhulp in de vorm van melkpoeder onbruikbaar. Een alternatief was al lang voorhanden in de vorm van yoghurt en karnemelk, maar deze zuivelprodukten zijn minder makkelijk tot poeder te verwerken dan melk.

Een nieuwe oplossing wordt nu geboden door een Australisch bedrijf, dat een in Japan ontwikkelde technologie toepast. Hierbij wordt in de fabriek al de eerste stap in het verteringsproces uitgevoerd. Enzymen worden gebruikt om lactose te hydrolyseren tot de voor iedereen bruikbare suikers glucose en galactose. De enzymen zijn in een reactor gebonden aan een harsachtig netwerk, om de vorming van ongewenste bijprodukten te voorkomen en de enzymen niet met de melk te laten verdwijnen. De vastgheefde enzymen blijven zo tot twee jaar bruikbaar.

De lactose-vrije melk kan gebruikt worden voor de produktie van allerlei zuivelwaren, waaronder magere en volle melk, magere-melkpoeder, yoghurt, ijs en koffiemelk. De eerste succesvolle verstrekking van lactose-vrij melkpoeder heeft inmiddels plaatsgevonden in Kuala Lumpur en Singapore, waar lactose-deficiëntie veel voorkomt.

*(Australian Information Service)*

De eierschaal van een zijdemot, opgenomen met een aan een elektronenmicroscopie verbonden direct-klaar camera. (Foto: Harvard University).

## Direct-klaar

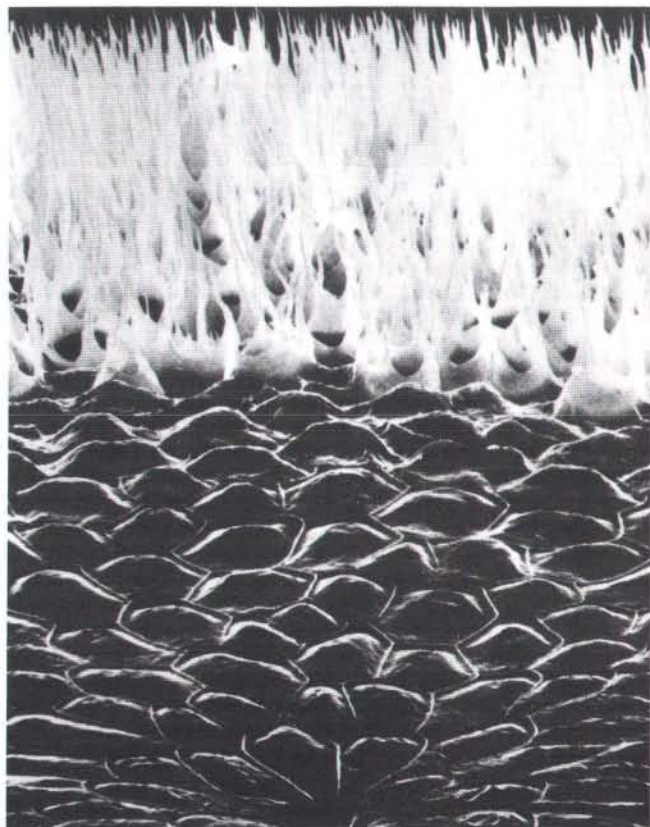
De direct-klaar fotografie begint ook in de wetenschap steeds verder door te dringen. Nazaten van de wat onhandig ogende Polaroid camera's kunnen tegenwoordig direct worden aangesloten op microscopen, ultrasound scanners, oscilloscopen, endoscopen, kortom vrijwel elk meetinstrument die een visueel beeld opleveren. Wat aansluiting op een scanning elektronenmicroscopie oplevert, is te zien aan bijgaande foto, gemaakt op de Harvard universiteit. Te zien is het oppervlak van de eierschaal van een zijdemot, 600x vergroot.

*(Persbericht Polaroid)*

## Bolbliksem

Naar aanleiding van de vele krantenartikelen over bolbliksems is het misschien interessant eens te kijken met welke eenvoudige fysische wetten we zo'n bolbliksem kunnen verklaren.

Gesteld we hebben de juiste omstandigheden voor een onweer. Een wolk bevindt zich op ca. 1 km hoogte. De doorslagveldsterkte in lucht bedraagt ca.  $10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ . De wolk heeft dan een potentiaal van  $10^9 \text{ V}$  ten opzichte van de Aarde. Voordat er een bliksemflits optreedt worden er eerst zgn. 'geleider'kanalen gevormd. Dit zijn geleidende plasmakanalen die ontstaan doordat elektronen in een uitstulping van





de elektronenwolk richting Aarde versneld worden. Raakt de geleider de Aarde dan treedt de doorslag op. Raakt hij echter een vogel dat wordt deze opgeladen tot ongeveer de wolk-potentiaal. Stel nu voor het gemak dat de vogel bolvormig is met een straal van 0,5 m. Hij heeft dan een capaciteit van  $C = 4\pi\epsilon_0 R = 3 \times 10^{-11}$  F, en een energie-inhoud  $P = \frac{1}{2} CV^2 = 1,5 \times 10^7$  J. (Hiermee kan 40 liter water van 0 tot 100°C verhit worden!) De veldsterkte op de rand  $E = V/R = 4 \times 10^9$  V·m<sup>-1</sup>. Dit is ruim boven de waarde van  $10^8$  V·m<sup>-1</sup>, waarbij veldemissie optreedt. (Veldemissie is het verschijnsel dat elektronen van de atomen als het ware losgetrokken worden in een hoog elektrisch veld. Kwantummechanisch gaat dit via een zgn. tunnelproces.) De elektronen die vrijkomen vliegen van de bol weg en ioniseren de lucht. De ionen worden versneld in de richting van de bol en geven licht door exciterende botsingsprocessen. Op de grond aangekomen zal de bol zich ontladen. De hoge potentiaal vloeit echter naar de Aarde via een relatief klein oppervlak. Er kan daar een soort luchtkussen ontstaan van stoom of plasma waarop de bol kan voortdrijven.

R.E. Horstman

## Wat is daar zo zwaar?

Astronomen zijn er nu van overtuigd dat een groot deel van de materie waaruit het heelal is opgebouwd, bestaat uit donkere massa en niet geheel uit heldere sterren. Deze 'ontbrekende' (onzichtbare) massa wordt duidelijk 'zichtbaar' bij het bestuderen van de rotaties van sterrenstelsels, zoals het onze.

Deze draaiibeweging wordt namelijk verstoord door de zwaartekracht van grote hoeveelheden massa buiten het stelsel. Waaruit

de massa bestaat is niet bekend, hoewel allerlei exotische deeltjes als neutrino's en axionen door theoretici gesuggereerd werden. Recent onderzoek wijst echter in de richting van normale materie, vergelijkbaar met die waaruit zichtbare sterren zijn opgebouwd.

Onderzoekers uit Princeton (VS) kwamen tot deze conclusie, nadat ze de rotatiecurven van een aantal spiraalvormige stelsels nauwkeurig hadden bestudeerd. Zij lieten zien dat de draaiing van het stelsel niet overal gelijk is en dat er een overgangsgebied is tussen het binnenste en het buitenste deel van het stelsel. De rotatie van het centrale deel wordt hoofdzakelijk beïnvloed door zichtbare massa en die van de buitenste rand door een mysterieuze en niet nader verklaarde 'ontbrekende' massa.

Deze theorie wordt echter bestreden door een groep Israëliëse cosmologen, die menen dat de verschillen in rotatie uitsluitend toe te schrijven zijn aan variaties in de zwaartekracht volgens Newton die zich over zeer grote afstanden voordoen. De Amerikanen nemen dit voor kennis aan, maar maken er verder geen woorden aan vuil. Zij blijven bij hun verklaring en vragen zich nu af waarom de ontbrekende massa donker is. Naar hun idee is dat ofwel omdat de massa aanwezig is in de vorm van vele planeetachtige hemellichamen die zelf geen licht uitstralen, of in de vorm van zwarte gaten, die overgebleven zijn van enorme lichamen uit de begintijd van het heelal.

(New Scientist)

## Overleven zonder vrouwtjes

Een toenemend aantal diersoorten op onze aardbol wordt met uitsterven bedreigd. Voor enkele van deze soorten kan alleen voortkweken in gevangenschap soelaas bieden. De uit Florida afkomstige zwarte kustgors (*Amospiza maritima nigrescens*) is zo'n zeldzame vogel. Slechts drie exemplaren zijn ervan bekend en inmiddels gevangen. Het zijn alledrie mannetjes, wat de voortplanting toch enigszins belemmert.

Met behulp van de Scotts kustgors, een nauwe verwant van de zwarte, tracht men nu toch de genenpool van het vogeltje te redden. Hiertoe kruist men beide (onder)soorten, wat een hybride (bastard) oplevert die voor 50 procent een zwarte kustgors is. De hybride vrouwtjes worden vervolgens gekruist met de zwarte mannetjes wat een 75 procent zwarte kustgors-hybride oplevert. Vijf van zulke kruisingen leveren achtereenvolgens vogels op die

50; 75; 87,5; 93,8 en 96,9 procent zwarte kustgors zijn.

Biologisch zijn er geen problemen, maar toch is het project bedoeld te mislukken. De USFWS (United States Fish and Wildlife Service), beheerder van de oorspronkelijke woonplaats van het vogeltje is niet van plan geld en toestemming te geven, zelfs niet nu de eerste 75 procent hybride een feit is en de drie mannetjes hun einde naderen: "Naar de letter van de wet is een 98,4 procent zwarte kustgors géén zwarte kustgors."

Toch heeft het experiment zin. Waardevolle ervaring wordt opgedaan om andere vogelsoorten waar nog maar enkele exemplaren van bestaan, door terugkruising te behoeden voor uitsterven. Hopelijk wordt een soort als de Californische condor niet door zo'n typisch bureaucratisch lot getroffen.

(Nature)

## Psoriasis

Psoriasis is een huidziekte die voor de patiënt heel vervelend is. Als gevolg van een storing in het proces waardoor de huid voortdurend vernieuwd wordt, ontstaan grote verhoorde huidschilders (zie foto). Op zich is de ziekte ongevaarlijk en ook niet besmettelijk, maar het (onterechte) gevoel een 'onreine huid' te hebben, betekent voor veel lijders een grote psychische belasting.

Een team van plastisch chirurgen in Århus in Denemarken experimenteert nu met een methode waarbij de huidschilders als het ware afgeschoren worden. In de afgelopen drie jaar hebben zij 24 patiënten op die manier behandeld. In die periode bleken 17 patiënten goed op de behandeling te reageren. Bij zeven patiënten kwam de ziekte terug, met name aan de randen van het behandelde gebied. Eén daarvan werd geholpen door de operatie nog eens te herhalen.

De artsen verwachten hiermee een simpele methode gevonden te hebben om in elk geval van de huidschilders af te komen.

(The Lancet)



## Meer vliegers, minder schade

De oogsten van kool, erwten en granen kunnen in de toekomst flink toenemen als de boeren weer gaan vliegeren. Vliegers oplaten boven een akker blijkt een verbazend effectieve manier om houtduiven, een beruchte landbouwplaag, te verjagen.

Het afschieten van de vogels is behalve duur en arbeidsintensief een nogal gênante vertoning; het spannen van een net boven het veld is alleen toepasbaar bij kleine oppervlakten. De methoden om duiven te verjagen variëren van de klassieke vogelverschrikker (die, als hij er goed uitziet best effect kan hebben) tot kanonnen die door een gas-explosie een oorverdovende knal veroorzaken. Geen van deze technieken echter blijkt de schade noemenswaardig te kunnen beperken.

Tot ieders verbazing bleek het oplaten van vliegers meer succes-

vol. Slechts 17 procent van de koolplanten werd aangepikt toen een rode vlieger met een spanwijdte van twee meter tijdens het groeiseizoen werd opgelaten boven een proefveld. Ter vergelijking: bij gebruik van stropoppen en knalkanonnen werd zo'n 80 procent van de planten door de duiven beschadigd.

De duifjes zijn waarschijnlijk zo bang voor de vreedzame vliegers omdat ze aangezien worden voor roofvogels. In tegenstelling tot de andere verjaag-methoden raken de vogels niet aan de vliegers gewend, mogelijk omdat de vliegers wegen in de wind.

En als wind gaat liggen? Gelukkig richten de duiven de meeste schade aan in de eerste paar maanden van het jaar, wanneer het zelden windstil is.

(New Scientist)

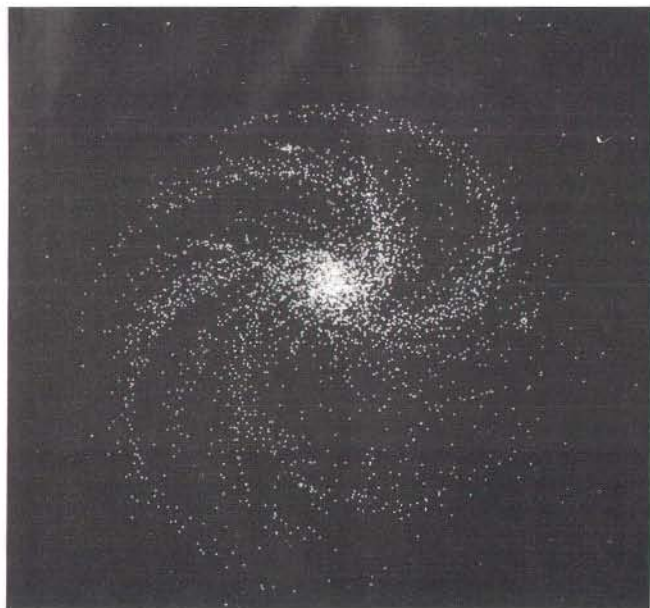
## Sterren uit computer

Het Omniversum in Den Haag beschikt sinds enige maanden over de Digistar. Dit is een planetarium-projector die door een computer gestuurd wordt. Deze digitale projector is de opvolger van de Zeiss-projector die bij de brand van 1976 in het toenmalige planetarium verwoest werd. Wat ervan overbleef staat nu, weer geheel gerestaureerd, in de bezoekershal van het Omniversum. Van dit type is nog maar één ander exemplaar over, in het Deutsches Museum in München. Het moderne exemplaar lijkt in het geheel niet op de oude Zeiss-projector. De lensjes en tandwiel zijn vervangen door moderne elektronica. De Digistar bestaat uit drie onderdelen: een centrale computer, een stuurcomputer en de eigenlijke projector.

De centrale computer berekent de beelden die geprojecteerd moeten worden. Hij heeft twee geheugens, een magneetband en een schijfgeheugen, met een totale opslagcapaciteit van 123 Mbyte. De stuurcomputer, ook wel grafische processor genoemd, 'zegt' wat er met de te projecteren beelden moet gebeuren.

De eigenlijke projector is een kathodestraalbuis van 18x18 cm. Het is een beetje te vergelijken met een TV; alleen is nu het TV-scherm ingenomen door de koepel van het Omniversum zelf. Deze heeft een oppervlakte van 840 m<sup>2</sup> en een diameter van 23,2 meter. Via een visse-oog lens kunnen 8000x8000 punten onafhankelijk van elkaar geprojecteerd worden, waarbij de beelden 25x per seconde gewisseld worden.





Een spiraalnevel is nog maar een voorbeeld van wat de Digistar kan projecteren op het scherm. (Foto: Omniversum Den Haag).

Iedere stip kan met 64 verschillende intensiteiten afgebeeld worden op het scherm.

Behalve het laten zien van de sterrenhemel vanaf ieder punt van de Aarde, kan het systeem ook de sterrenhemel zoals die te zien is van een planeet bij een andere ster, bijv. de Poolster, laten zien. Verder kan de daagse, maandelijkse en jaarlijkse beweging getoond worden, evenals de precessie van de as van de aarde. En wel op ieder tijdstip in het verleden of de toekomst.

Ook planeetbewegingen zijn zichtbaar te maken; zelfs een 'reisje' tussen de sterren is mogelijk. Verder kunnen de sterrenbeelden door middel van lijnen beter zichtbaar gemaakt worden, of bepaalde sterren 'gelabeld' worden. Behalve deze mogelijkheden kunnen ook zons- en maansverduisteringen meebeliefd worden, kunnen kometen 'neerregenen' op aarde, of kan de computer onze blik versluieren door verre nevels.

Het uitspanel is een verzameling

heldere en minder heldere punten ver van ons vandaan. Maar punten kun je aaneenrijgen tot lijnen, en lijnen tot vlakken of contouren. Daarmee is gelijk een andere mogelijkheid van de Digistar aangegeven: bijvoorbeeld het laten zien hoe een bepaald bouwwerk in een stad of polder al dan niet past. Stedebouwkundigen willen een bepaald bouwwerk realiseren tussen andere in. Welke stijl past daarbij, hoe groot kan het worden en hoe kijk je er tegen aan? Waterbouwkundigen kunnen een polder leegmalen en kijken hoe dat verder doorwerkt. Ingenieurs laten hun nieuwe machines aan alle kanten bekijken door geldschietters, klanten enz. De Digistar is een veelzijdige projector, waarmee meer kan dan met de oude projector die zelfs als kijkobject in de hal qua uiterlijke ingewikkeldheid nog respect afdwingt. De moderne versie lijkt eenvoudiger, maar kan iets meer...

Jacques Verduijn

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044\*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertentie-exploitatie:

D. Weijer. Tel. 05987-23065.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 30,- of 450 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 95,- of 1825 F.

Prijs voor studenten: f 72,50 of 1395 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 8,45 of 160 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

## NATUUR

EN

## TECHNIEK

GEÏLLUSTREERD POPULAIR-WETENSCHAPPELIJK MAANDBLAD

## James Watt herdacht

Op den 19den Januari 1936 valt de 200ste geboortedag van een der grootste en meest succesvolle genies, die de geschiedenis van de techniek kent, van James Watt, den uitvinder van de stoommachine. Er bestaat in de techniek nauwelijks een andere uitvinding, die met zoo veel succes bekroond van een zoo groote revolutionaire beteekenis was, geen andere, waaraan het tegenwoordige mensdom zooveel te danken heeft, als het levenswerk van dezen man, die oneindig meer tot den technischen en economischen vooruitgang van de wereld en daardoor indirect ook tot den geestelijken vooruitgang heeft bijgedragen, dan ooit te voren aan een enkeling was vergund en misschien wel nooit meer aan een tweeden zal te beurt vallen.

De beteekenis van de uitvinding van James Watt ligt in het feit, dat daardoor het mensdom voor het eerst in staat was om de natuurkrachten in grooten omvang toe te passen, dat daardoor met één slag een energie werd verkregen, die alle andere tot op dat tijdpunt bekende en verwante arbeidskrachten honderd- en duizendvoudig aan kracht en capaciteit overtrof en daardoor de geheele techniek in bijna al haar takken op 'n geheel nieuwe en veel vruchtbaardere basis plaatste. In den tijd, die voor de uitvinding van de stoommachine ligt, bestond de toepassing van de natuurkracht voor arbeidsdoeleinden alleen uit de exploitatie van den wind voor het bedrijf van windmolens en van stroomend water voor watermolens, beide even eenvoudige als betrekkelijk weinig presteerende soorten van krachtbedrijf. Overigens echter waren de lichaamskrachten van mensch en dier het eenige middel waarover het mensdom sinds de duizendtallen jaren van zijn geschiedenis en werkzaamheden beschikte en al waren er ook in het verleden ongetwijfeld zeer respectabele technische prestaties, die enkele en alleen door dergelijke arbeidskrachten werden verkregen, toch zou het zelfs in tienduizenden jaren niet mogelijk zijn geweest, de techniek, de industrie en het verkeerswezen tot een zoo reusachtigen op-

bloei op te voeren, een zoo geweldige toename van hun prestaties en capaciteiten te bereiken en tot een zoo snelle ontwikkeling te doen komen, als ze door de stoommachine in verloop van ongeveer anderhalf eeuwen bereikt zijn. Werkelijk reden te over voor de geheele bevolking van onzen aardbol, om den dag, waarop het twee honder jaar geleden is, dat de man, die door zijn uitvindingsdaad verreweg het meest tot dezen reusachtigen vooruitgang in het leven van het mensdom heeft bijgedragen met dankbaarheid te herdenken.



## Een nieuwe industrie in Nederlandsch Indië

Daar de duisternis in Nederlandsch Indië reeds om 6 uur invalt zal het niemand verwonderen, dat dit Imperium met z'n ontelbare desa's – waar het 's avonds „aardedonker” kan zijn – een geweldig afzetgebied vormt van electrische zaklantaarns.

Tot voor een jaar droegen de Eveready batterijen, die men naast enkele Japansche fabrikaten op Java aantrof, alle nog het „Made in U.S.A.”, doch thans dragen zij het opschrift „National Carbon Cy Java Ltd.” Wij hebben hier dus te doen met een nieuwe N.I. industrie, die ongetwijfeld zal bijdragen tot meerdere welvaart van onze Koloniën in Nederlandsch Indië en daarmee ook indirect van het Moederland.



## GESLACHTSHORMONEN

### Regelaars onder controle ?

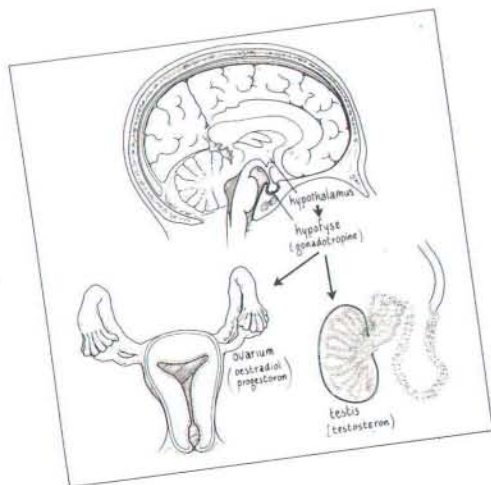
Voor veel mensen heeft het woord hormonen een negatieve betekenis. Ze denken dan aan dopinggebruik in de sport of aan geknoei met slachtvee. Hormonen zijn echter belangrijk voor het regelen van allerlei levensprocessen.

In dit Cahier worden de geslachtshormonen en hun toepassingen behandeld. Het eerste hoofdstuk schetst hun rol bij de voortplanting. Uit het tweede hoofdstuk blijkt dat een verband tussen geslachtshormonen en seksueel gedrag bij de mens nog onduidelijk is.

Al geruime tijd wordt gebruik gemaakt van nagemaakte hormonen of stoffen met een hormonale werking. Het bekendste voorbeeld is de *pil*. Het onderzoek aan en de vernieuwing van de pil wordt beschreven in hoofdstuk 3. Een nieuwe en mogelijk succesvolle ontwikkeling is de zgn. abortuspil.

Dat geslachtshormonen meer regelen dan alleen de voortplanting blijkt uit het hoofdstuk over de *overgang*. Bijzondere aandacht wordt daarbij geschonken aan osteoporose.

Toediening van geslachtshormonen als geneesmiddel staat onder controle. Dat is veel minder het geval met het veelal illegale gebruik bij slachtvee en in de sport. Daarover handelen de laatste twee hoofdstukken.



Voor abonnees op de Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij is dit het tweede nummer van de huidige 10e jaargang.

Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 32,50 of 620 F. Voor studenten en/of abonnees op Natuur en Techniek

### Inhoud en auteurs

#### Voorwoord

#### Hormonen zijn regelaars

J.J. van der Werff ten Bosch

#### Geslachtshormonen en gedrag

A.K. Slob & P. van der Schoot

#### Hormonen en de pil

A.A. Haspels

#### De overgang

I. van Gent

#### Osteoporose

D.H. Birkenhäger-Frenkel

#### Anabolica en slachtveehouderij

R.W. Stephany, E.H.J.M. Jansen & F.X.R. van Leeuwen

#### Hormonen en sport

J.M. van Rossum

#### Dopingbeleid in Nederland

J.P. van der Reijden

f 30,- of 570 F. Losse nummers f 8,50 of 160 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek - Informatiecentrum - Op de Thermen - Postbus 415 - 6200 AK Maastricht. Tel. 043-254044.

Vanuit België: 00-3143254044.

---

# Wat je van erfelijkheid moet weten voor je aan kinderen denkt.

Erfelijke factoren bepalen mede de geestelijke en lichamelijke gesteldheid van kinderen. Het is goed dat aanstaande ouders zich tegenwoordig over deze materie kunnen laten voorlichten. En het is ook goed dat particuliere ziektekostenverzekeraars en het Ziekenfonds de kosten daarvan betalen.

Er is nu een boekje verschenen over erfelijkheidsvoorlichting dat u

eens moet lezen. Dit boekje van de Vereniging Samenwerkende Ouderen Patiëntenorganisaties kunt u gratis aanvragen.

Een gefrankeerde brief naar:  
IDC, Postbus 70, 3500 AB Utrecht  
is voldoende.

**ERFELIJKHEIDSVoorlichting.  
ZORG DAT U DE WEG WEET.**